الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته

الهولوغرافيا الرقمية

تصميم وبرمجة هولوغرامات رقمية

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في علوم الليزر

إعداد الطالب

علي معذا العليان

بإشراف

د.محمد كوسا

أستاذ في قسم الفيزياء جامعة دمشق

د. ضيف الله نصور

أستاذ في قسم الفيزياء جامعة تشرين

دمشق ١٤٣١هـ - ٢٠١٠م

بسم الله الرحمن الرحيم

قَالُوا سُبْحَانَكَ لاَ عِلْمَ لَنَا إِلا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنتَ

الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ

صدق الله العظيم

سورة البقرة ﴿٣٢﴾

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

"لقد جاءكم رسول من أنفسكم عزيز عليه ما عنتم حريص عليكم بالمؤمنين رؤوف رحيم"

لك يا من نورك أضاء الوجود ، و أشرقت بك الحياة . . . .

لك يا من قلت :"من سلك طريقاً يلتمس فيه علماً سهل الله له طريقاً إلى الجنة"

معلمنا الأول و رسولنا الأعظم : محمد عليه وعلى اله أفضل الصلاة و أتم التسليم

إلى من أغدقا علي الحنان وقدما لي الرعاية و التربية الصالحة إلى من وصى الله عز وجل بهما بقوله :

"و اخفض لهما جناح الذل من الرحمة و قل ربي ارحمهما كما ربياني صغيراً"

أمي و أبي حفظهما الله

إلى من عشت و ترعرعت بينهم ....

إلى أخوتي الأعزاء

إلى الورود الزاهية و القلوب الصافية و الأحضان الدافئة............

إلى أخواتي الغاليات على قلبي

إلى العقول المنتجة و الأيدي المعطاءة للذين ساندونا لحظة بلحظة ....

أساتذتي الكرام

إلى كل من ساعدني و شجعني و لو بكلمة ....

أصحابي الأوفياء

الهدف من البحث

يهدف البحث من خلال علم الهولوغرافيا و استخدام المحاكاة الحاسوبية إلى :

١- إنشاء الهولوغرام الثنائي رقميا باستخدام المحاكاة الحاسوبية لعدد من الأشكال.

٢- دراسة ومحاكاة تأثير المنظومات الضوئية من خلال عمليتي الالتفاف والارتباط.

٣- المعالجة الضوئية للمعلومات واستخدام الهولوغرام كمرشح رقمي.

٤- تمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي.

٥- كشف الفرق بين شكلين متشابهين.

ملخص البحث

يتطرق هذا البحث إلى عدد من الجوانب التي ترتكز على أحد العلوم التي تطورت بعد ظهور أشعة الليزر، وهو علم التصوير ثلاثي الأبعاد أي علم الهولوغرافيا. ولما كان علم الهولوغرافيا يعتمد على نحو أساسي على بعض الظواهر الضوئية فإنه من الضروري عرض ما يلي :

أولا : التعريف بطبيعة الضوء والمنابع الضوئية، وكيفية الحصول على منابع ضوئية مترابطة، ومن ثم التركيز على المنابع الليزرية، بالإضافة إلى ذكر أهم أنواع الليزرات المستخدمة في حقل الهولوغرافيا.

ثانيا : دراسة الظاهرة الأساسية التي يقوم عليها علم الهولوغرافيا، وهي ظاهرة الانعراج ومعرفة تمثيلها الرياضي، بالإضافة إلى التعرف على كل من عمليتي الالتفاف والارتباط وعلاقتهما بتحويلات فورييه.

ثالثا : دراسة كيفية إنتاج الهولوغرام وكيفية إعادة بناء الخيال لعدد من الحالات دراسة نظرية، ومن ثم التعرف على كيفية إنتاج الهولوغرام الثنائي رقميا من خلال المحاكاة الحاسوبية.

رابعا : المعالجة الضوئية للمعلومات، والاستفادة من الهولوغرام المنتج رقميا كمرشح، واستخدامه في تمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي وكشف الفرق بين شكلين متشابهين.

خامسا : التعرف على الخوارزميات الحاسوبية التي يعتمد عليها في إجراء المحاكاة الحاسوبية.

سادسا : القيام بعملية المحاكاة الحاسوبية باستخدام برنامج Matlab، والاستفادة من هذه العملية في تحقيق جميع الأهداف المرجوة من هذا البحث.

مقدمة تاريخية عـامـة

Historical Introduction

يعد علم الضوء من أقدم العلوم قاطبة، حيث بدء منذ عصر اليونان عندما اعتبر فيثاغورث Pythagoras (٥٠٠-٥٨٢) ق م : إن الرؤية تبخر حار ينطلق من عين الإنسان. وجاء بعده إقليدس Euclid's (٢٧٠-٣٣٠) ق م، الذي اعتقد بانطلاق أشعة من عين الإنسان تتحسس بنهاياتها عندما تصطدم بالأجسام المادية فتخلق حاسة الرؤية، ثم كان دور العالم الفيزيائي العربي الحسن بن الهيثم (٣٥٤ - ٤٣٠) هـ (٩٦٥- ١٠٣٨) م الذي طور دراسة علم الضوء وفسر عملية الرؤية على أساس الأشعة التي تنطلق من المادة المشعة إلى عين الإنسان، وعلى هذا الأساس صنع العلماء بعض الأجهزة الضوئية مثل المجهر ١٥٩٠م والنظارة الضوئية ١٦١٠م. ثم اكتشفت قوانين الانعكاس والانكسار من قبل العالم ديكارت René Descartes (١٥٩٦- ١٦٥٠) م، وسميت بقوانين ديكارت ١٦٥٠م. وفي القرن الثامن عشر جاء العالم نيوتن Isaac Newton (١٦٤٢-١٧٢٧) م ليفتح صفحة جديدة ويحدث ثورة كاملة في علم الضوء بدراسته ظاهرة التبدد في الموشور وتشكل اللون الأبيض من الألوان الأساسية باستخدام بالقرص المعروف باسمه (قرص نيوتن). حاول نيوتن تفسير عملية انعكاس الضوء على أساس ارتداد الجسيمات المادية عند الاصطدام مفترضاً أن الضوء يتكون من جسيمات أيضا.لكن هذه النظرية الجسيمية اصطدمت بحاجز كبير عند دراسة ظواهر التداخل والانعراج، عندها ظهر العالم هويجنس Christian Huygens (١٦٢٩-١٦٩٥)م الذي أعطى تفسيرا لتلك الظاهرة مفترضا أن الضوء ذو طبيعة موجية طولية ،واشترط لانتشاره وجود وسط سماه الأثير. لم تستطع فرضية هويجنس تفسير بعض الظواهر الضوئية الأخرى كالاستقطاب، لأن افتراضه أن الموجة الضوئية طولية يخالف ما يتطلبه الاستقطاب من أن تكون الموجة عرضانية، ولم يستطع كذلك صياغة نظرية الألوان وظواهر ضوئية أخرى، وبالتالي لم تستطع النظرية الموجية لهويجنس أن تصمد في الصراع مع النظرية الجسيمية للضوء، لأن معظم العلماء تضامنوا مع النظرية المادية لنيوتن لمدة قرن من الزمان. ثم جاء أول تبيان صريح للطبيعة الموجية للضوء في عام ١٨٠١م على يد العالم يونغ Thomas Young (١٧٧٣-١٨٢٩)م في تجربته المشهورة ثقبا يونغ، حيث لم تستطع النظرية المادية تفسير مناطق التداخل ذات الشدة العظمى للضوء، أي مناطق التداخل البناء ومناطق الشدة المعدومة للضوء، أي مناطق التداخل الهدام المتكونة على حاجز يقع خلف لوح صنع فيه ثقبان صغيران متجاوران. ثم جاء الانتصار

الجديد أيضا للنظرية الموجية بنتيجة الأبحاث الهامة التي قام بها العالم الفرنسي فرنل Augustin Fresnel (١٧٨٨-١٨٢٧)م حيث أثبتت أن الضوء أمواج عرضانية. استطاعت هذه النظرية تفسير ظاهرة الاستقطاب ولاقت أعظم دعم لها في أعمال العالم الانكليزي ماكسويل James Clerk Maxwell الذي أثبت نظرياً في عام ١٨٧٣م بأن الضوء موجة كهرطيسية مؤلفة من حقل كهربائي وحقل مغناطيسي متعامدين ومعامدين لمنحى الانتشار وهما تابعان دوريان للزمن لهما نفس التواتر، أيد العالم هيرتز Heinrich Hertz (١٨٥٧-١٨٩٣)م النظرية الكهرطيسية تجريبياً باختراعه أجهزة لكشف والتقاط هذه الأمواج في عام ١٨٨٧م. نتيجة ذلك استطاعت النظرية الموجية تفسير حوادث التداخل والانعراج والاستقطاب، إلا أنها عجزت عن تفسير التفاعل بين الإشعاع والمادة خصوصا تفسير الفعل الكهرضوئي الذي أكتشفه العالم هرتز، حيث بقيت الظاهرة بدون تفسير حتى اكتشاف النظرية الكمومية للإشعاع عندما نشر العالم بلانك Max Planck في عام ١٩٠٠م بحثا عن الطيف الكهرطيسي الصادر عن الجسم الأسود الساخن. وافترض أن طاقة الإشعاع الصادر لا تمتلك قيماً مستمرة بل تكون متقطعة ولهذا فأن تبادل الطاقة بين الإشعاع والمادة لا يتم بشكل مستمر بل على شكل كمات Quanta، كل كم يملك طاقة تتناسب طردا مع تواتر الموجة الحاملة له :

$$E = h\upsilon = \hbar\omega$$

E : طاقة الفوتون وتقدر بالجول أو بالالكترون فولط ($1eV=1.6*10^{-19}$).

h : ثابت بلانك ($6.624*10^{-34}$ Joule.sec)، $\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$

υ: تواتر الفوتون الضوئي المكافئ لتواتر الموجة الكهرطيسية.

ω: التردد الزاوي ($2\pi\upsilon$)

استناداً إلى فرضية بلانك استطاع اينشتاين Albert Einstein (١٨٧٩-١٩٥٥)م أن يفسر المفعول الكهرضوئي في عام ١٩٠٥م، حيث ربط بين فكرة الكمات و نظرية انحفاظ الطاقة واشتق منها العلاقة الهامة المعروفة بعلاقة اينشتاين للمفعول الكهرضوئي التالية :

$$\hbar\omega = \frac{1}{2} m_e V^2 + E_{bind}$$

$\frac{1}{2}m_eV^2$: الطاقة الحركية للالكترون المنتزع.

E_{bind} : طاقة ارتباط الإلكترون بالمعدن وهي كمية مميزة لكل معدن ، وتسمى تابع العمل للمعدن المدروس.

نتيجة لذلك عُرفت للضوء أو الإشعاع الكهرطيسي بشكل عام بالإضافة إلى الخصائص الموجية خصائص جسمية. حيث تحمل كل حبيبة مقدارا من الطاقة مساويا $\hbar\omega$ دعيت هذه الجسيمات فيما بعد بالفوتونات Photons. وعُرفت الطبيعة المزدوجة للضوء، وتوالت إسهامات العلماء من خلال الميكانيك الكوانتي أمثال العالم لويس دوبروي Louis De Broglie (١٨٩٢-١٩٨٧)م و هايزنبرغ Werner Heisenberg (١٩٠١-١٩٧٦)م و شرودنغر Erwin Schrodinger (١٨٨٧-١٩٦١)م وديراك Paul Dirac (١٩٠٢-١٩٨٤)م الذي استطاع وبشكل خاص الربط بين النظرية الكهرطيسية للضوء ونظرية الفوتون.

وهكذا وصل العلماء إلى قناعة مشتركة بأن الضوء مؤلف من جسيمات خاصة تدعى الفوتونات، تمتلك بدورها كتلة حركية وطاقة وكمية حركة وعزم كمية حركة. وعليه يستطيع الضوء استنادا إلى خصائصه الجسيمية تبادل الطاقة وكمية الحركة معها، واستنادا إلى خصائصه الموجية بالإمكان تفسير العديد من الظواهر كالانعراج والتداخل والاستقطاب بعبارة أخرى : إن الضوء ذو طبيعة مزدوجة جسيمية – موجية .

وقد أدى تطور علم الضوء بين الخمسينيات وبداية الستينيات إلى اكتشاف أشعة ضوئية ذات خصائص هامة، قلبت علم الضوء رأسا على عقب ورفعته إلى ذروة العلوم الفيزيائية هذه الأشعة هي أشعة الليزر Laser، التي نال على اكتشافها كل من العالم الأميركي تاونس Charles Townes (١٩١٥)م والعالمان السوفيتيان باسوف Nikolay Basov (١٩٢٢-٢٠٠٠)م و بروخوروف Aleksandr Prokhorov (١٩١٦-٢٠٠٢)م جائزة نوبل للفيزياء. وبظهور أول ضوء مترابط فعليا ظهرت العديد من التطبيقات التقنية التي شاعت في شتى الميادين، والتي كانت تعتمد اعتمادا مباشرا على خصائص عظيمة امتلكها هذا الضوء، ومن بين هذه التطبيقات التي كان تطورها وتقدمها يتوقف على ظهور أشعة الليزر هو التصوير المجسم أو الهولوغرافيا. وهكذا نرى أن علم الضوء لم يعد مقتصرا على دراسة الظواهر التقليدية، بل تعداه إلى دراسات جديدة جعلته من أرقى العلوم الفيزيائية وارفعها قاطبة في الوقت الحاضر.[1][6]

الفصل الأول

المنابع الضوئية المترابطة والليزر

Coherent Sources and Laser

المنابع الضوئية المترابطة والليزر

Coherent Sources and Laser

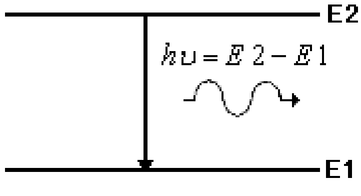
١.١ المنابع الضوئية : [5][6]

بداية وقبل البدء بدراسة الضوء والمنابع الضوئية تعرفنا على ماهية الضوء. وذلك من خلال سرد التسلسل التاريخي للنظريات التي تحدثت عن طبيعة الضوء. حتى وصلنا في النهاية إلى مفهوم المثنوية أو الطبيعة الازدواجية للضوء الموجية - الجسيمية. وأطلق اسم الفوتون كمصطلح يشير إلى تلك المثنوية، وعليه يجب دراسة الضوء بصورة عامة بناءا على طبيعته الفيزيائية المزدوجة فقط. لأن بعض الظواهر الضوئية يمكن تفسيرها على أساس الطبيعة الموجية، وبعضها الآخر المتعلق بتفاعل المادة مع الضوء يجب دراستها على أساس الطبيعة الجسيمية مع الأخذ بالحسبان وجهة النظر الكمومية. على سبيل المثال، يمكن دراسة ظواهر الانعراج والتداخل اعتمادا على الطبيعة الموجية للضوء فقط، ولا يعد ذلك إغفالا للصفة الأخرى لأن الطبيعة الموجية للضوء قامت في البداية على أساس نتائج تجارب التداخل والانعراج. وعليه يمكننا تعريف الضوء كموجة كهرومغناطيسية عرضية تمتد من الأشعة تحت الحمراء($\lambda = 20\mu m$) إلى الأشعة فوق البنفسجية ($\lambda = 0.01\mu m$)، ويمتد المجال المرئي للضوء مابين الطولين الموجيين : ($\lambda = 0.4\mu m$) للبنفسجي و ($\lambda = 0.7\mu m$) للأحمر.

في العصور القديمة نظر الإنسان إلى الشمس والنجوم على أنها المنبع الأساسي للضوء ولكن حاجة الإنسان للضوء جعلت ظهور الكثير من تقنيات إصدار الضوء أمراً حتمياً وأخذت هذه التقنيات أشكالاً عدة ولكن مهما تنوعت وتعددت إلا أنها تعتمد على طريقتين أساسيتين هما :

١- التوهج : هو عملية انبعاث الضوء من مادة ساخنة درجة حرارتها T>=800 k.

٢- التألق : وهو انبعاث الضوء عندما ينتقل إلكترون مثار من سوية عليا طاقتها E2 إلى سوية أدنى طاقتها E1 على نحو تلقائي أو بفعل مؤثر خارجي مثل الحقل



الشكل (١-١)[2]

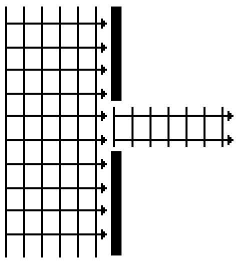
الكهربائي أو فوتون ضوئي يسقط على المادة ويسمى بالإصدار المحثوث.

٢.١ انتشار الضوء :

يعتمد انتشار الضوء اعتماداً مباشراً على طبيعة الضوء. وللمقارنة سنبين الاختلاف بين مبدأ الانتشار المستقيم حيث ينتشر فيه الضوء اعتمادا على النظرية الجسيمية للضوء ومبدأ هويجنس الذي ينتشر فيه الضوء وفقا للنظرية الموجية.

١.٢.١ مبدأ الانتشار المستقيم :[9]

اعتمادا على النظرية الجسيمية للضوء ينص هذا المبدأ على أن الشعاع الضوئي ينتشر في الوسط الشفاف المتجانس وفق خط مستقيم. ويمتلك أيضا صفة الاستقلالية في السلوك حيث يكون كل شعاع من الحزمة الضوئية مستقل عن الأشعة الأخرى. كما يتبين لنا ذلك من الشكل أثناء عبور حزمة ضوئية عبر فتحة أبعادها كبيرة نسبيا.



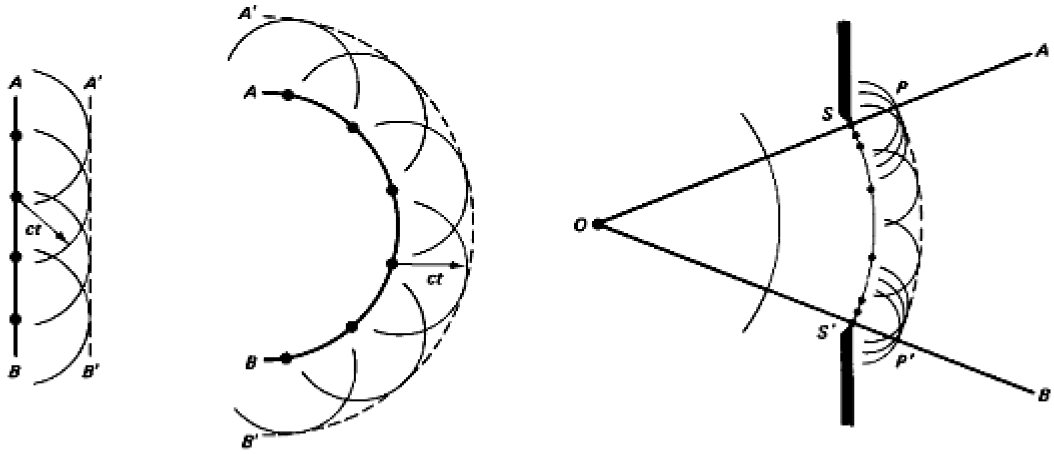
الشكل (١-٢)[1]

٢.٢.١ مبدأ هويجنس:[1] [5] [6]

ينتشر الضوء على شكل أمواج بشكل مشابه للأمواج الميكانيكية المشهورة. وتتمتع الموجة بصدر موجة يعتمد على شكل المنبع الضوئي، فنحصل على أمواج ذات صدور كروية أو مستوية..... فمثلا لإنشاء صدور موجة كروية لمنبع ضوئي s نقطي، فرض هويجنس أن كل نقطة من صدر الموجة الرئيسية هو منبع ثانوي يصدر موجات ثانوية تنتشر بنفس السرعة، ومغلف هذه الموجات الثانوية جميعها في اللحظة t هو صدر الموجة الجديد. بعبارة أخرى صدر الموجة الرئيسية عبارة عن المحل الهندسي لتلك الأمواج الثانوية في كل نقطة من نقاط الفراغ .أطلق هويجنس على السطح $A'B'$ الذي يمس كغلاف جميع الموجات الثانوية الصادرة عن المنابع الثانوية تسمية صدر الموجات الثانوية، التي تشكل صدر الموجة الجديدة. وذلك بفرض أن الضوء يسير بنفس الوسط، وهذا ما يسمى مبدأ هويجنس وهذا المبدأ يوضح لماذا تحيد الأمواج عن مبدأ الانتشار المستقيم عند مرورها عبر ثقب صغير أو عند مرورها بطرف حاجز. يدعى حيود الأمواج هذا بالانعراج فهذا الثقب الصغير يعمل كمنبع ثانوي ولهذا تظهر موجة كروية في الجهة الأخرى.

لقد تبين فيما بعد أن هذا المبدأ ليس دقيقا بشكل كاف، حيث أن الأمواج تسلك سلوكا مختلفا باختلاف طبيعتها وطول موجتها. فمثلا الموجة الصوتية إذا صادفت حاجزا معينا فإنها تنحرف

عنه بعكس الأمواج الضوئية التي ستنعكس. ولكن هويجنس يعامل هاتين الحالتين بطريقة واحدة ولكن قصور هذا المبدأ قد حل من قبل العالم فرينل بإضافة مبدأ التداخل والانعراج.



الشكل (١-٣)[6]

٣.١ المنابع المترابطة وظاهرة التداخل: [1] [6]

لما كان مجال البحث يتطرق لظواهر التداخل والانعراج فأننا سنهتم بالخاصية الموجية للضوء فقط. إلا أنه من الضروري التعرف على كيفية إصدار الضوء، فمن المعلوم أن الذرة التي تصدر الضوء نتيجة الانتقالات الالكترونية بين السويات تعطي فوتونات تختلف عن بعضها بالتواتر، مما يجعل هذه المنابع غير صالحة لكثير من التطبيقات المبنية على التداخل والانعراج، لأن الشرط الأساسي لحدوث التداخل بين موجتين على الأقل أن يكون لهما نفس التواتر، لنفرض أنه لدينا منبعان ضوئيان نقطيان S1 , S2 يصدران أمواجا جيبية لها نفس التواتر. حيث تعطى العلاقة المعبرة عن:

الاهتزازة الصادرة عن المنبع الأول S1: $a_1 \cos(\omega t - \varphi_1)$

الاهتزازة الصادرة عن المنبع الثاني S2: $a_2 \cos(\omega t - \varphi_2)$

فإذا وصلت الاهتزازتان إلى نقطة P ، فإن عبارة كل من الاهتزازتين عند P :

الأولى: $$Y_1 = a_1' \cos(\omega t - \varphi_1 + \frac{2\pi r_1}{\lambda})$$

الثانية : $$Y_2 = a'_2 \cos(\omega t - \varphi_2 + \frac{2\pi r_2}{\lambda})$$

تتراكب هاتان الاهتزازتان في النقطة P والاهتزازة الناتجة سيكون مطالها A_P :

$$A_p^2 = a_1'^2 + a_2'^2 + 2a_1'a_2' \cos(\varphi_2 - \varphi_1 + \frac{2\pi(r_2 - r_1)}{\lambda})$$

على اعتبار فرق الطور: $$\Phi = \varphi_2 - \varphi_1 + \frac{2\pi(r_2 - r_1)}{\lambda}$$

تؤول العلاقة السابقة إلى الشكل التالي :

$$A_p^2 = a_1'^2 + a_2'^2 + 2a_1'a_2' \cos(\Phi)$$

إن المقدار السابق يمثل مربع المطال للحقل الكهربائي في النقطة P. ومن المعلوم أن مربع المطال يتناسب طردا مع كثافة الطاقة الكهرطيسية في هذه النقطة، التي تدعى بشدة الاهتزازة الضوئية في هذه النقطة. ونلاحظ أن هذه الشدة تابعة لفرق الطور Φ، وبما انه مقدار متغير عندها سيكون لدينا قيم عظمى وقيم صغرى للشدة. وهذا ما يدعى بالتداخل بين الاهتزازتين. إن فرق الطور Φ يحتوي حدين : الحد الأول : $\frac{2\pi(r_2 - r_1)}{\lambda}$ الحد المعرف في النقطة التي ندرس فيها التداخل، أما الحد الثاني : $\varphi_2 - \varphi_1$ عبارة عن فرق الطور بين الاهتزازتين لحظة صدورهما عن المنبعين الضوئيين.

بما أن آلية الإصدار الضوئي تتلخص في أن طور كل قطار أمواج يتغير بطريقة متواترة من قطار أمواج إلى أخر، فان الطور $\varphi_2 - \varphi_1$ الخاص بالمنبعين المستقلين لا يبقى ثابتا إلا من اجل فترة زمنية صغيرة من مرتبة الإصدار الخاص بقطار من الأمواج، ويعبر عن هذه الفترة بالعلاقة :

$$\tau = \frac{1}{\Delta\upsilon}$$

$\Delta\upsilon$: عرض خط الإصدار الخاص بالمنبع الضوئي .

على فرض أن المنبعين الضوئيين من مصباح ضوئي عادي فإن قيمة τ تكون من رتبة $10^{-9}\,sec$. ولكن من المعلوم أن اقل زمن للإدراك الحسي لشبكية العين هي من مرتبة $10^{-1}\,sec$ إذن ما نميزه في النقطة P يمثل القيمة الوسطية للشدة الضوئية :

$$\bar{I}p = \overline{A}_p^2 = a_1'^2 + a_2'^2 + 2a_1'a_2'\overline{\cos\Phi} \ldots\ldots (١-١)$$

إن المقدار $\varphi_2 - \varphi_1$ يتغير حوالي 10^8 مرة في الثانية و $\cos\Phi = 0$ يمكن أن نكتب :

$$\bar{I}p = a_1'^2 + a_2'^2 = I_{1p} + I_{2p} \ldots\ldots\ldots\ldots (٢-١)$$

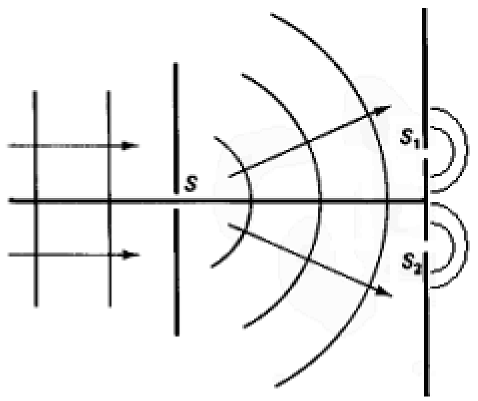
العلاقة الأخيرة نستخلص منها شيء واحداً، وهو أن الشدة الضوئية الملاحظة في النقطة P عبارة عن مجموع الشدات المرسلة من كل منبع إلى هذه النقطة. وفي هذه الحالة لا نستطيع التميز أو إدراك ظاهرة التداخل، ونطلق على هذه المنابع الضوئية اسم المنابع الضوئية غير المترابطة. الخلاصة من أجل مشاهدة ظاهرة التداخل وبشكل مستقر يجب أن يكون Φ تابعا فقط إلى موضع النقطة P، لهذا يتطلب بقاء الحد $\varphi_2 - \varphi_1$ ثابتا بمرور الزمن عندها نستطيع تسمية هذه المنابع بالمنابع المترابطة.

١.٣.١ طرق الحصول على المنابع المترابطة :

إن طرق الحصول على منابع مترابطة كثيرة جدا نذكر منها:

١-طريقة ثقبي يونغ :[6][1]

تعتمد هذه الطريقة على صنع ثقبين في حاجز، حيث يكون الثقبان متماثلان S2, S1. ويضاء هذا الحاجز بمنبع وحيد اللون S، فحسب مبدأ هويجنس يسلك الثقبان سلوك منبعين ثانويين. والأهم من ذلك أنهما مترابطين تماما فيما بينهما، لأنهما ناتجين عن نفس الموجة الصادرة عن المنبع الأساسي S.

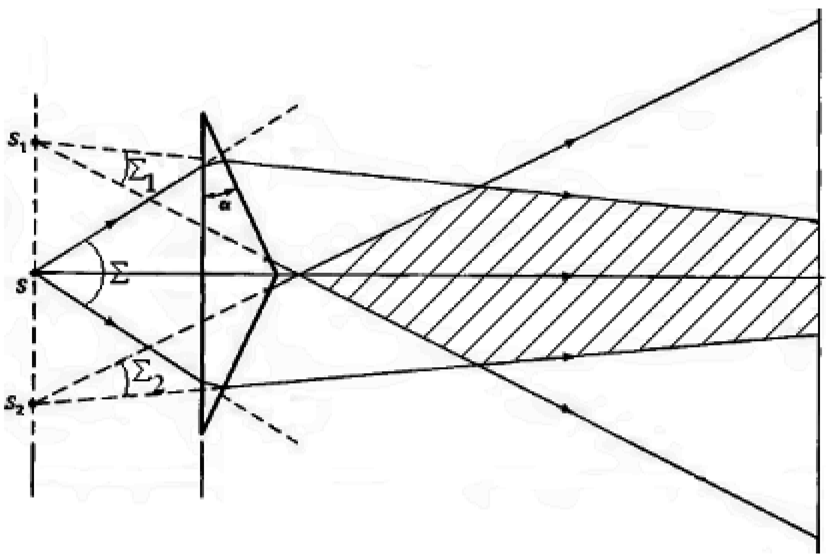


الشكل (١-٤)[6]

٢- طريقة تقسيم صدر الموجة : [6][1]

في هذه الطريقة أيضا نعتمد على منبع ضوئي واحد وحيد اللون S. صدر الموجة الصادر عنه Σ ونقوم بتقسيم صدر الموجة إلى موجتين Σ_1,Σ_2 كأنهما صادرتين من منبعين S1 , S2، الذين هما بالأصل خيال المنبع النقطي S.على سبيل المثال يبين الشكل (١-٥) إحدى طرق تقسيم صدر الموجة باستخدام موشوري فرينل، وهما عبارة عن موشورين رقيقين متماثلين زاوية رأسيهما صغيرة جدا من رتبة 1^o وملتصقتين من قاعدتيهما.

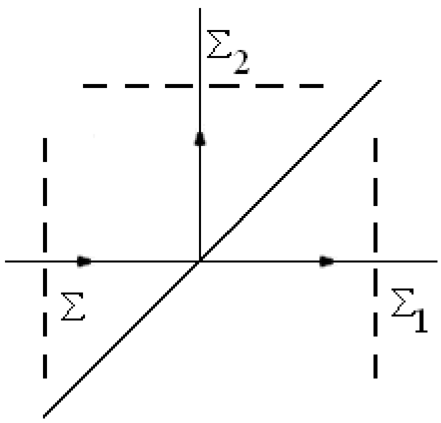
بهذه الطريقة نحصل على موجتين مترابطتين زمانياً ومكانياً، يحدث تداخل للموجتين في المنطقة المشتركة للحزمتين الضوئية الناتجة عن S1 , S2.



الشكل (١-٥)[6]

٣-طريقة تقسيم سعة الموجة : [6][1]

تولد الموجة الضوئية Σ الواردة على السطح الصقيل الكاسر للضوء موجتين، الأولى تنفذ من السطح الكاسر Σ_1، والأخرى تنعكس عنه Σ_2 كل من الموجة النافذة والمنعكسة تشكلان موجتين مترابطتين فيما بينهما، لأنهما ناتجتين عن نفس الموجة Σ. إذا كان بالإمكان جعلهما تتراكبان فإنهما سوف تتداخلان، كما هو عليه الحال في مقياس تداخل مايكلسون وغيره.



الشكل (١-٦)[6]

٤-المنابع الليزرية :[6][1]

في جميع الطرق السابقة نعتمد على منبع رئيسي واحد ونحصل على منبعين بإحدى الطرق المذكورة. أما في حالة المنابع الليزرية فيكمن الحصول على منبعين مترابطين متمايزين ومشاهدة ظواهر التداخل دون الحاجة إلى تقسيم صدر الموجة أو تقسيم السعة وما إلى هنالك من الطرق المختلفة. ومن هنا تنبع أهمية استخدام الليزر في جميع تطبيقات التداخل والانعراج.

١.٤ أول ضوء مترابط (الليزر Laser) :

١.٤.١ تعريف الليزر:[8]

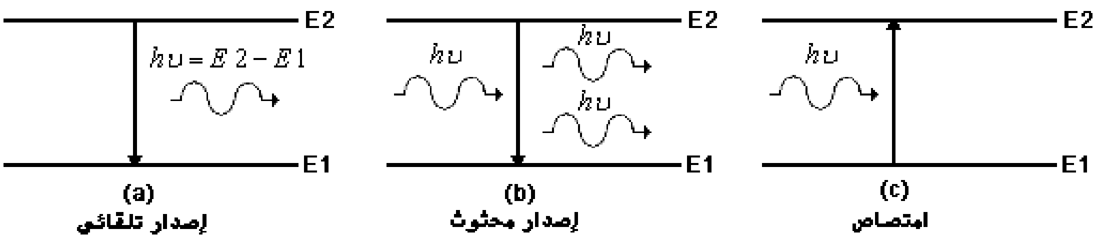
ينتمي علم الليزر و تطبيقاته لميدان في الفيزياء الحديثة هو حقل الالكترونيات الضوئية. وأول من تنبأ بوجود الليزر العالم ألبرت اينشتاين Einstein عام ١٩١٧ م. حيث وضع الأساس النظري لعملية الإصدار المحثوث Stimulated Emission، أما كلمة Laser فجاءت من الحروف الأولى للكلمات الانكليزية التي تؤلف الجملة التالية :

Light amplification by stimulated emission of radiation

التي تعني تضخيم الضوء بفعل الإصدار المحثوث للإشعاع، تم تصميم أول جهاز ليزر عمليا في عام ١٩٦٠م بواسطة العالم ميمان T.H.Maiman. حيث استخدم بلورة الياقوت الأحمر في صناعته والذي يعرف بليزر الياقوت Ruby Laser. من الجدير بالذكر أن أجهزة الليزر غير محدودة بترددات الضوء المرئي فقط، بل تم إنتاج الليزر ضمن مجال الترددات الممتدة من تحت الأحمر Infrared، إلى فوق البنفسجي Ultraviolet من الأمواج الكهرطيسية، وكذلك مجال الأشعة X. وهذه التنوع جعل أجهزة الليزر تدخل في شتى حقول التقنية الحديثة، بدءا من الميكروبيولوجيا وحتى صناعة السيارات والطائرات. لان العديد من التطبيقات التقنية التي شاعت بعد ظهور الليزر كانت تعتمد اعتمادا مباشرا على خصائص عظيمة امتلكها أول ضوء مترابط تم إنتاجه.

١.٤.٢ تفاعل الضوء مع المادة :[2] [8]

يقوم تشغيل وعمل الليزر على ثلاث عمليات أساسية تحدث عندما تتفاعل موجة كهرطيسية مع المادة وهي : الإصدار التلقائي ، الإصدار المحثوث (المتحرض) ، الامتصاص



الشكل (١-٧)[2]

١- الإصدار التلقائي Spontaneous Emission : سندرس جملة مؤلفة من سويتين طاقيتين E2, E1، بافتراض E2>E1 كما في الشكل (١-٧)/(a) مع إمكانية أن تكون السويتين من مجموعة سويات الطاقة الكثيرة وغير المحدودة للمادة ، ولكن من الأنسب اختيار السوية (١) لتكون السوية الأرضية Ground State. فإذا كانت الذرة أو الجزيئة موجودة في البداية في السوية (٢) التي تعد سوية مثارة طاقتها E2 Excited State، وتنتقل إلى السوية الأرضية التي طاقتها E1 ولما كان E2>E1 فان الانتقال سيؤدي إلى تحرر طاقة مقدارها E2-E1 على شكل موجات كهرومغناطيسية. تدعى هذه العملية بالإصدار التلقائي و يتحدد تردد الموجة الصادرة (تردد الفوتون الصادر) عن الإصدار التلقائي بعلاقة بلانك :

$$\upsilon_0 = \frac{(E2 - E1)}{h} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١-٣)$$

υ_0: تردد الموجة الصادرة ، h : ثابت بلانك

وتعطى طاقة الفوتون الناتج عن الإصدار التلقائي بالعلاقة :

$$\omega 0 = {(E2 - E1)}/{\hbar} \quad \text{أو} \quad h\upsilon_0 = E2 - E1 \quad \ldots (١-٤)$$

من الضروري الإشارة إلى أن الإصدار التلقائي هو أحد الاحتمالات الممكنة لعودة الذرة من السوية (٢) إلى السوية (١)، حيث يمكن للذرة أن تعود إلى السوية الأرضية بطريقة غير مشعة، أي تتحرر الطاقة بأشكال أخرى غير إشعاعية كطاقة حركية للجزيئات المجاورة.

٢- الإصدار المحثوث Stimulated Emission:

على فرض أن الذرة كما في الجملة السابقة كانت في البداية في السوية (٢). وأن موجة كهرطيسية ترددها $\upsilon = \upsilon_0$ يساوي تردد الموجة الصادرة بشكل تلقائي، أي أن لهذه الموجة تردد الانتقال الذري ذاته. عندئذ هناك احتمال لان يؤثر حقل هذه الموجة قسرياً

على الذرة لتشرع في الانتقال من السوية(٢) إلى السوية(١)، وبنتيجة هذا الانتقال تتحرر الطاقة E2-E1 على شكل موجة كهرومغناطيسية تضاف إلى الموجة الواردة كما في الشكل (١-٧)/(b)، وهذا ما ندعوه بالإصدار المحثوث. يختلف الإصدار المحثوث عن الإصدار التلقائي من حيث كون أطوار الأمواج الكهرومغناطيسية الناجمة عن الإصدار التلقائي مختلفة عن بعضها الأخر و لا توجد علاقة محددة تربط بين أطوار هذه الموجات، بالإضافة إلى أنها تصدر في إي اتجاه. أما في الإصدار المحثوث أو المتحرض الذي يحصل قسرياً بواسطة الموجة الكهرومغناطيسية الواردة، فأنه يؤدي إلى إضافة طور الموجة الصادرة إلى طور الموجة الواردة وتكون الموجتان في نفس الاتجاه وتمتلكان بنفس التردد. يمكن تفسير هذه الظاهرة اعتمادا على مفهوم الامتصاص.

٣- الامتصاص Absorption:

إذا فرضنا أن الذرة كانت في البداية في السوية (١) التي اعتبرناها سوية أرضية، فان الذرة ستبقى في هذه السوية ما لم يطبق عليها مؤثر خارجي. وعند ورود موجة كهرومغناطيسية ترددها $\upsilon = \upsilon_0$ على المادة تصبح هنالك احتمالية لكي ترتفع الذرة إلى السوية (٢)، حيث تحصل الذرة على الطاقة اللازمة لذلك التي مقدارها E2-E1 من طاقة الموجة الواردة إي تحدث عملية الامتصاص الشكل (١-٧)/(c).

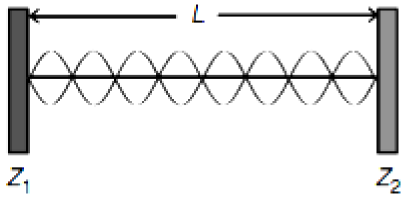
١.٤.٣ مكونات أجهزة الليزر [10]:

يشترط في جهاز الليزر أن يتوفر فيه الأجزاء التالية :

١- المادة الفعالة : هي الوسط المادي المولد للأشعة الليزرية عن طريق الإصدار المحثوث للضوء، ويمكن أن تكون مادة صلبة أو غازات أو سوائل، حيث يتم دراستها طيفيا وتحدد مستويات الطاقة في ذراتها ومداراتها الالكترونية وخاصة المستويات الليزرية.

٢- نظام الضخ الضوئي : يمثل المنبع الضوئي الذي يصدر ضوءا يعمل على بدء عملية الإصدار المتحرض، وبالتالي توليد أشعة الليزر. وهناك العديد من المنابع الضوئية المستخدمة في هذا المجال ويعتمد ذلك على نوع الليزر والمادة الفعالة (مثل الوماض المستعمل في التصوير العادي في الليزرات الصلبة، والإنفراغ الكهربائي في الليزرات الغازية).

٣- جملة التضخيم أو المجاوبة الضوئية :



الشكل (١-٨)[10]

تتكون عادة من مرآتين عاكستين مستويتين أو كرويتين أو مستوية وكروية Z_1,Z_2 توضعان متقابلتين، بحيث يكون الوجه العاكس لهما نحو الداخل، أي باتجاه المادة الفعالة وتشكلان ما يسمى المجاوبة الضوئية. تهتز حزمة الضوء ذهابا وإيابا ضمن المادة الفعالة فتنشأ موجة مستقرة ليزرية وحيدة اللون، حيث يعطى تواتر هذه الحزمة تبعا للمسافة بين المرآتين وفق شرط الطنين (التجاوب) :

$$L = n\frac{\lambda}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١-٥)$$

L: البعد بين المرآتين.

λ : طول موجة الفوتونات التي تحقق شرط التجاوب.

١.٤.٤ خصائص حزم الليزر :[8][2]

١- أحادية اللون Monochromaticity: إن هذه الخاصية ناشئة عن :

أ- إمكانية تضخيم شبه انتقالي للموجات الكهرطيسية ذات التردد المحدد بالمعادلة (١-٣).

ب- أن كون المرآتين تشكلان مجاوبة فالتذبذب يحدث فقط عند الترددات الرئيسية لهذه المجاوبة. وبسبب التنافس بين الأنماط الطولية فإن عرض الخط الليزري Line Width يصبح أضيق بكثير (بـ ١٠ مراتب من قيمة عرض الانتقال (٢) إلى (١) في الإصدار التلقائي).

٢- الترابط Coherence: يحتمل مفهوم الترابط كلا من :

أ- الترابط المكاني Spatial: لتوضيح الترابط المكاني نتصور نقطتين P1, P2 في اللحظة t=0 تكونان على نفس صدر الموجة الكهرومغناطيسية، وعلى فرض أن الحقل الكهربائي عند هاتين النقطتين $E_2(t), E_1(t)$ على التوالي. من الواضح أن فرق الطور بين هذين الحقلين يساوي الصفر عندما t=0، و إذا بقي فرق الطور معدوما مع مرور الزمن t>0 فيقال عندئذ أنه يوجد ترابط تام Perfect Coherence بين النقطتين. وإذا

تحقق هذا من اجل أي نقطتين على صدر الموجة، فيقال أن الموجة تمتلك ترابطاً مكانياً تاماً. أما من الناحية التطبيقية فللحصول على ترابط جيد بين نقطتين P1 و P2 فان النقطة P1 يجب أن تقع ضمن منطقة محدودة حول النقطة P2، عندها يقال أن الموجة تمتلك ترابطاً مكانياً جزئياً. ولهذا يمكننا عند أي نقطة P إدخال سطح ترابط معين $S_C(p)$.

ب- الترابط الزماني Temporal : لنتصور المجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية عند نقطة معينة P في اللحظتين t و $t+\tau$، فإذا بقي فرق الطور بين الحقلين ثابتا بعد تأخر زمني محدد τ وبقي ثابتا لأي زمن t، فيقال انه يوجد ترابط زمني خلال الفترة الزمنية τ. وإذا تحقق هذا الترابط من أجل أية قيمة لـ τ فيقال أن الموجة الكهرومغناطيسية تمتلك ترابطاً مكانياً تاماً، أما إذا تحقق هذا خلال زمن τ : $0<\tau<\tau_0$ فيقال أن الموجة تمتلك ترابطاً مكانياً جزئياً حيث زمن الترابط τ_0، إن مفهوم الترابط الزماني يتصل مباشرة بأحادية الطول الموجي.

أن كل من مفهومي الترابط الزماني والمكاني لا يتوقفان أحدهما على الأخر. حيث يمكن أن تمتلك الموجة ترابطاً مكانياً تاماً و ترابطاً زمانياً جزئياً محدوداً والعكس صحيح. تعد خصائص الترابط من الخصائص الأساسية لفهم الاختلاف بين المصادر الضوئية الاعتيادية والليزر.

٣- الاتجاهية Directionality :

تنتج هذه الخاصية من حقيقية كون المادة الفعالة في الليزر موضوعة داخل مجاوبة، أن حزمة الليزر تعاني تفرقا محدودا عند دراسة حالة أشعة ليزر ذات ترابط مكاني تام، على خلاف الأشعة ذات الترابط المكاني الجزئي التي يكون تفرقها أكبر تجدر الإشارة إلى أنه ضمن شروط تشغيل مناسبة، يمكن للحزمة الليزرية أن تكون محددة بالانعراج .

٤- السطوع Brightness:

يعرف سطوع منبع الموجات الكهرومغناطيسية بأنه الاستطاعة الصادرة عن واحدة المساحة من السطح لكل وحدة زاوية مجسمة. ويعتبر السطوع مهم بالنسبة لحزمة الليزر وبشكل عام لأي منبع ضوئي. فلو شكلنا الصورة لأي منبع ضوئي عبر جملة ضوئية معينة، وفرضنا أن الجسم والصورة يقعان في نفس الوسط، يتبين لنا أن سطوع الصورة دائما اقل أو يساوي سطوع المنبع. وتتحقق المساواة عندما تعطي الجملة تصويرا بدون فقد

خسارة للضوء الصادر من المنبع. في الغالب يكون مقدار سطوع المنابع الليزرية أكبر عدة مراتب من المنابع الكلاسيكية المألوفة سطوعاً.

١.٤.٥ أنواع الليزرات :[2][8]

هنالك العديد من أنواع الليزرات التي تتضمن أوساطا فعالة كثافتها المادية عالية. حيث أدى تنوعها إلى تنوع التطبيقات، وأصبحت تغطي مختلف مجالات العلوم والتكنولوجيا. يمكن تقسيم الليزرات استناداً إلى خصائص الوسط الفعال إلى الأقسام الآتية :

١- ليزرات الحالة الصلبة (بلورة أو زجاج) : المادة الفعالة فيها عبارة عن ايونات شائبة داخل البلورات الأيونية مثل ليزر الياقوت (Ruby) أو ليزر Nd:YAG.

٢- الليزرات الغازية : يوجد أنواع عدة تنتمي إلى هذا النوع من الليزرات مثل : أ- ليزرات الذرة المعتدلة (He-Ne) ،ب- الليزرات الأيونية (مثل ليزرات الغازات الأيونية (ليزر Kr^{+}) و ليزرات أبخرة المعادن (Cd,Se,Zn,Pb,Sn))، جـ- ليزرات الغازات الجزيئية مثل ليزرات الدورانية الاهتزازية Co_2 و الليزرات الاهتزازية الالكترونية N_2 و ليزرات الاكسيمر Excimer.

٣- ليزرات الصبغة : الوسط الفعال فيها سائل مكون من محاليل مركبات معينة لصبغة عضوية مذابة في سوائل مثل الكحول الاتيلي أو الكحول المثيلي أو الماء.

٤- الليزرات الكيميائية : يعتمد هذا النوع من الليزرات على التفاعل الكيمائي مباشرة في القيام بانقلاب الإسكان مثل ليزر HF.

٥- ليزرات أنصاف النواقل: تعتمد على الصمام الثنائي (الديود) مثل الليزرات المستخدمة في الاتصالات (ليزر $GaAs$).

٦- ليزرات المراكز اللونية.

٧- ليزرات الالكترونات الطليقة.

١.٤.٦الليزرات المستخدمة في حقل الهولوغرافيا Holography: [2] [1]

عندما نشأ علم الهولوغرافيا (كما سيتبين لنا في فصل الهولوغرافيا) في عام ١٩٤٨م على يد العالم الكبير Dennis Gabor (١٩٠٠-١٩٧٩) م. لم تكن المنابع الضوئية التي كانت معروفة آنذاك وحيدة اللون بما فيه الكفاية حتى تتحقق شروط التداخل عند التقاء كل من الحزمة المباشرة والحزمة المنعرجة، بالإضافة إلى أن قراءة الهولوغرام تتطلب ضوء وحيد اللون حتى يتم إعادة

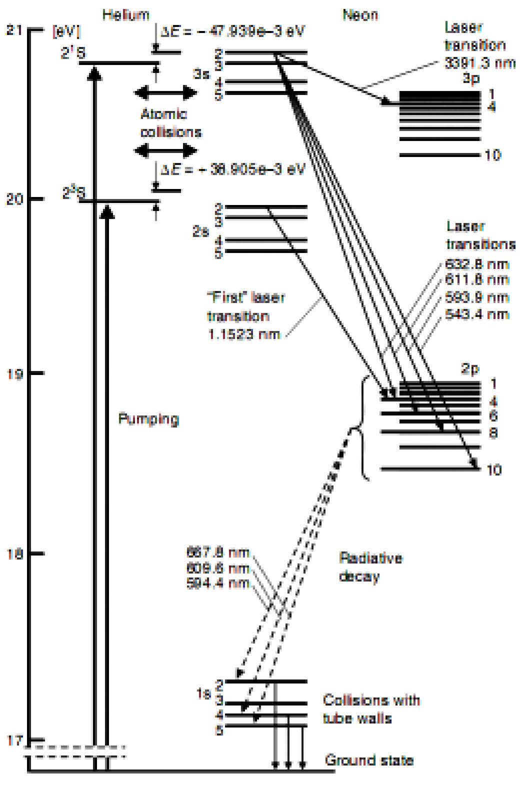
بناء الصورة للجسم انطلاقا من شكل أهداب الانعراج المسجلة على الهولوغرام. حيث استخدم العالم Gabor ضوء أزرق أحادي اللون يصدر من مصباح بخار الزئبق، واستخدم مرشح ضوئي ليحصل على ضوء وحيد اللون. ولكن إذا كان الجسم المراد تصويره بهذه الطريقة كبيراً فيجب أن يكون طول ترابط الضوء المستخدم كبيرا بشكل كافٍ لتحقيق شروط التداخل ولما كانت المنابع المألوفة لا تعطي طول الترابط المطلوب لهذا كان لابد من انتظار ظهور أشعة الليزر لكي يتطور هذا العلم.

تنتمي الليزرات المستخدمة في حقل الهولوغرافيا إلى الليزرات الغازية وخاصة ليزرات الذرة المعتدلة وبشكل خاص أكثر ليزر هليوم – نيون (He-Ne) الذي يتذبذب عند طول موجة اللون الأحمر ويعود السبب في ذلك إلى الاستجابة الكبيرة للحبيبات المكونة لفلم التصوير الهولوغرافي عند طول موجة إصدار ليزر (He-Ne).

١.٦.٤.١ ليزر هليوم - نيون (He-Ne): [2] [8][10]

يعتبر هذا النوع نموذجا هاما حيث يمكن أن يتذبذب عند أي من الأطوال الموجية التالية :

$\lambda_2 = 0.63282\mu m, \lambda_1 = 3.3913\mu m, \lambda_3 = 1.1523\mu m$. إن ليزر (He-Ne) هو أول الليزرات الغازية التي صنعت للتذبذب عند طول موجي $1.1523\mu m$. أما ليزر (He-Ne) الأحمر $0.63282\mu m$ فهو من أكثر الليزرات رواجا وأوسعها استعمالاً، وخاصة في علم التصوير المجسم (الهولوغرافيا). في الشكل (١-٩) مخططات لسويات الطاقة لكل من الهليوم He والنيون Ne. يحدث الفعل الليزري بين سويات الطاقة للنيون حيث يضاف الهليوم لتأمين عملية الضخ، ومن الملاحظ من الشكل أن طاقة السويتين 2^3S و 2^1S في الهليوم تتوافق



الشكل (١-٩)[10]

مع طاقة السويتين 2S و 3S في النيون على الترتيب. وبما أن السويتين 2^3S و 2^1S شبه

مستقرتين، فإن للهليوم كفاءة عالية في ضخ السويتين 2S و 3S للنيون بواسطة الانتقال التجاوبي للطاقة (resonant energy transfer). وقد وجد أن هذه العملية هي المهيمنة في إحداث انقلاب الإسكان في ذرات النيون، مع أن التصادمات المباشرة بين ذرات Ne والالكترونات تسهم أيضا في عملية الضخ. مما سبق يمكن تعزيز إسكان السويات 2S و 3S للنيون، ولهذا يمكن اعتبارها سويات عليا للانتقالات الليزرية. ولما كانت الانتقالات الليزرية المحتملة هي الانتقالات من الحالات S إلى الحالات P، بالإضافة إلى أن زمن الانحلال للحالات S ($\tau_s \approx 100ns$) أكبر عشر مرات من زمن انحلال الحالات P ($\tau_p \approx 10ns$) عندئذٍ يتحقق الشرط التالي :

$$\tau_1 < \tau_2 \quad ....(١-٦)$$

وهذا هو الشرط اللازم لكي يعمل الليزر ضمن نظام العمل CW . من هذه الاعتبارات يتبين أن التذبذب الليزري يمكن توقعه على أي من الانتقالات a,b,c ، المبينة في الشكل (١-٩). ومن بين الانتقالات المتنوعة للنموذج a، يكون أقوى الانتقالات هو ذلك الانتقال الذي يحدث بين السويتين الثانويتين $3S_2$ من مجموعة 3S، والسويات الثانوية $3P_4$ من المجموعة 3P ($\lambda_1 = 3.3913\mu m$) وأقوى الانتقالات للنموذج b الانتقال $3s_2 \rightarrow 2p_4$ (الخط الأحمر $\lambda_2 = 0.63282\mu m$) وهذا هو ليزر الهليوم – نيون الشائع الاستعمال في علم الهولوغرافيا.

أما الانتقال $2s_2 \rightarrow 2p_4$ للنموذج c فيعطي الطول الموجي $\lambda_3 = 1.1523\mu m$.

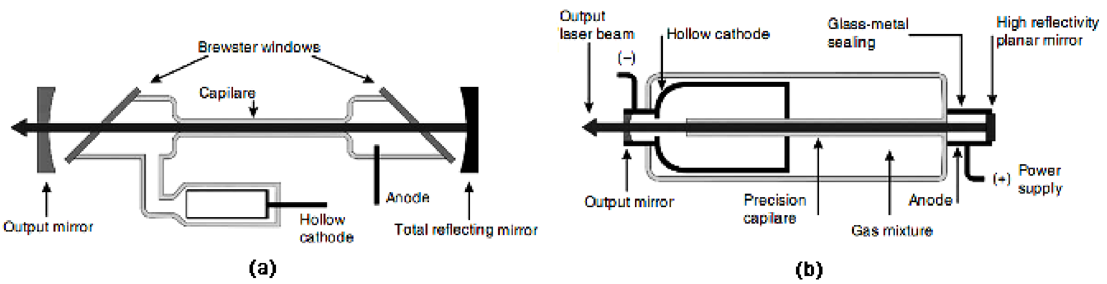
وفيما يلي جدول يبين جميع الانتقالات الممكنة والأطوال الموجية الموافقة لكل منها :

Transition	Wavelength	Relative Intensity	Comments
$3s_2 \rightarrow 2p_1$	730.49 nm	0.1	
$3s_2 \rightarrow 2p_2$	640.11 nm	0.3	
$3s_2 \rightarrow 2p_3$	635.19 nm	0.3	
$3s_2 \rightarrow 2p_4$	**632.82 nm**	**1.0**	**Red**
$3s_2 \rightarrow 2p_5$	629.38 nm	0.3	
$3s_2 \rightarrow 2p_6$	**611.80 nm**	**0.3**	**Orange**
$3s_2 \rightarrow 2p_7$	604.61 nm	0.15	
$3s_2 \rightarrow 2p_8$	**593.93 nm**	**0.15**	**Yellow**
$3s_2 \rightarrow 2p_{10}$	**543.36 nm**	**0.8**	**Green**
$3s_2 \rightarrow 3p_4$	**3.3913 µm**	**0.1**	**Mid-infrared (very high gain)**
$2s_2 \rightarrow 2p_1$	**1.5231 µm**	**0.3**	**Infrared (telecomm. window)**
$2s_2 \rightarrow 2p_4$	**1.1523 µm**	**0.2**	**Infrared ("first" gas laser action)**

جدول (١-١)[10]

٢.٦.٤.١ تصاميم ومخططات جهاز الليزر (He-Ne): [2] [8][10]

أن أول التصاميم لليزر (He-Ne) كانت وفق المخطط العام في الشكل (١-١٠)/(a). حيث يوضع الغاز داخل أنبوب ذي قطر مناسب (من بضعة ميليمترات إلى بضعة سنتمترات) مسدود النهايتين بنافذتين تميلان بزاوية بروستر Brewster angle، فعند هذه الزاوية لا تعاني حزمة أشعة الليزر المستقطبة أي خسارة عند نفوذها عن سطح النافذتين، ويفضل استخدام المرايا الكروية على المرايا المستوية لأنها تكوَن مجاوبة أكثر استقراراً.



الشكل (١-١٠)[10]

يوجد الآن ترتيب جديد ينتهي أنبوب التفريغ فيه بمرآتين والمجاوبة والسطوح المطلية للمرآتين تكون ضمن منطقة التفريغ كما في الشكل (١-١٠)/(b) . بسبب العمليات المعقدة التي تسهم في إثارة وإزالة الإثارة للسويات، فان لليزر (He-Ne) قيم مثلى لعدد من عوامل التشغيل سنذكر منها على وجه الخصوص ما يلي :

أ- القيمة المثلى لحاصل ضرب الضغط الكلي للغاز P وقطر الأنبوب D، والتي تدل على أن درجة حرارة الإلكترون تساوي المقدار (PD=3.6-4Torr × mml) توافق درجة حرارة المحيط.

ب- القيمة المثلى للنسبة (Ne:He) تساوي (حوالي) 1:5عند العمل عند طول الموجة $\lambda = 0.63282\mu m$ وحوالي 1:9 عند العمل عند طول الموجة $\lambda = 1.1523\mu m$)

ت- قيمة مثلى لكثافة تيار التفريغ J وفقاً للغرض المطلوب من الليزر.

الفصل الثاني

الانعراج وتحويل فورييه

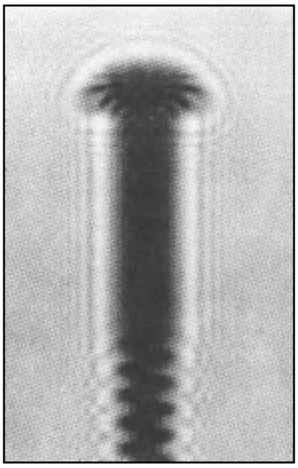
Diffraction & Fourier Transform

الانعراج وتحويل فورييه

Diffraction & Fourier Transform

١.٢ تعريف الانعراج :[1][6]

يعرف الانعراج بأنه حيود الضوء عن مبدأ الانتشار المستقيم عند حواف الحواجز، والثقوب والشقوق . وتعتبر ظاهرة الانعراج من الظواهر التي لم تستطع نظرية الجسيمات للعالم نيوتن تفسيرها، وقد ذكرنا ذلك سابقاً. فهي تعارض مبدأ الانتشار المستقيم للضوء الذي يعتبر الأساس الذي بنيت عليه نظريته. تتالت المحاولات لفهم هذه الظاهرة وتفسيرها، وظهر أول شرح من قبل العالم فرانسيسكو غريمالدي Grimald Francesco(١٦٦٣-١٦٨١)م، الذي وجد بالتجربة أن الثقب المضاء يترك وراءه بقعة مضيئة أوسع من الثقب نفسه فيما لو انتشر الضوء بصورة مستقيمة. بالإضافة لملاحظته أن أطراف الظل تكون ملونة تتخللها مناطق قليلة الإضاءة كما في الشكل(٢-١). إن الضوء الهندسي يقتضي تشكل خيال حاد للجسم على الشاشة، وعدم وجود ضوء ضمن نقاط الظل الهندسي وإضاءة منتظمة خارج منطقة الظل، ويعود السبب الرئيسي في ظهور أطراف الظل الملونة والمناطق القليلة الإضاءة إلى أن معظم المنابع الضوئية ليست منابع نقطية، حيث تتراكب الأهداب فوق بعضها البعض مما يحول دون رؤية أي واحد منها.



الشكل (٢-١)[6]

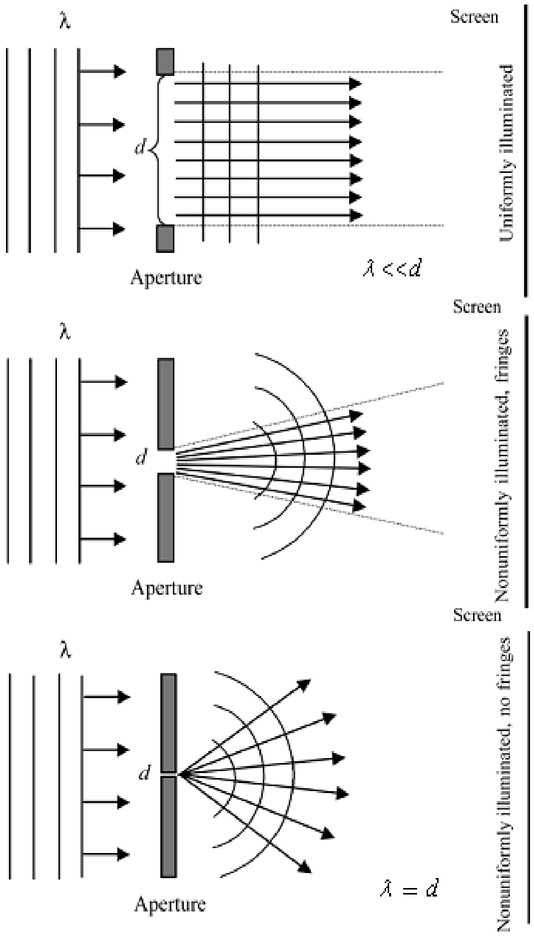
ويمكن تفسير أثار الانعراج الأساسية باستخدام مبدأ هويجنس، الذي ادخل تعديلات جوهرية على نظرية سلفه، ونص المبدأ المعروف باسمه : إن كل نقطة من سطح موجة يعتبر مصدرا لمويجات ثانوية تنتشر في جميع الاتجاهات على شكل أمواج كروية. وعليه ومن خلال هذه الظاهرة أصبح الضوء ذو طبيعة موجية، وبذلك ظهرت النظرية الموجية للضوء كما ذكرنا ذلك سابقا.

٢.٢ شروط ظاهرة الانعراج :

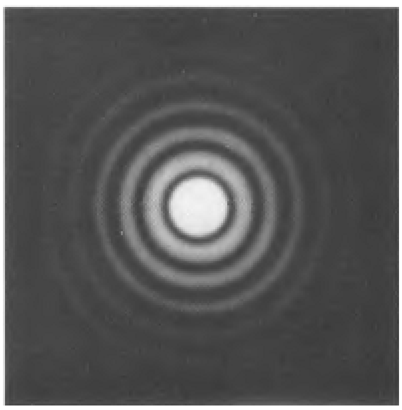
يحدث الانعراج باستمرار عند انتشار كل موجة. حيث نلاحظ ظواهر الانعراج إذا اقتطع جزء من الموجة بحاجز ما. وبما أن أية آلية ضوئية بصرية تستخدم فعلا جزءا محددا من موجة

(فالمنظار مثلا يستخدم فقط جزء الموجة المار من عدسته الجسمية)، فإنه يبدو أن فهم الانعراج ضروري لفهم جميع الحوادث الضوئية فهما تاما [6]، وحتى نصل لذلك الفهم علينا معرفة شروط حدوث مثل هذه الظاهرة.

١- تحدث ظاهرة الانعراج عندما تعبر موجة مستوية ، أي أشعة متوازية من خلال فتحة دائرية مصنوعة في حاجز عاتم نصف قطر الفتحة قريب من طول موجة الضوء المستخدم، وعندها فإن الضوء البارز سوف يتوزع في كافة الاتجاهات. ونقول بأن الضوء قد انعرج وحاد عن مبدأ الانتشار المستقيم، والموجة البارزة تصبح موجة كروية، وسوف نتلقى على شاشة تقع خلف الحاجز العاتم منطقة دائرية مضيئة مساحتها أكبر من مساحة الثقب محاطة بحلقات مظلمة فمضيئة متعاقبة تدعى أهداب الانعراج (fringes) الشكل (٢-٣).[1]



الشكل (٢-٢) [8]



الشكل (٢-٣)[5]

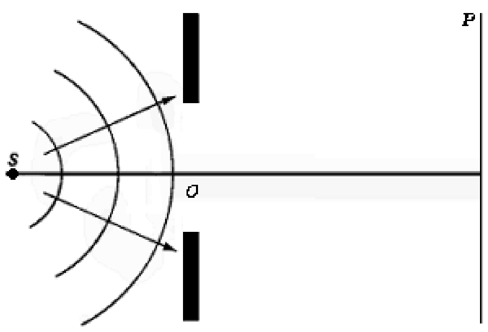
٢- كما أن ظاهرة الانعراج تحدث إذا ورد الضوء على لوح زجاجي شفاف، وصادف بقعة سوداء صغيرة مقارنة مع طول الموجة، وعندها يكون الهدف المركزي مضيئاً، ولا يتشكل الظل الهندسي كما يحدث إذا كانت البقعة كبيرة.

وعليه يمكننا القول من المثالين السابقين الذين يوضحان شرطا أساسيا لحدوث ظاهرة الانعراج، والقائم على أن تكون النسبة $\frac{d}{\lambda}$ قريبة من الواحد، وعلى هذا الشرط تم تعريف المنبع النقطي للضوء (point source)، حيث يمكن اعتبار أي فتحة نصف قطرها أصغر من طول الموجة منبعاً نقطياً. [1]

إذا استبدلنا الثقب الدائري بشق طويل وضيق مقارنة بطول الموجة، فإننا نشاهد حادثة الانعراج باتجاه العرض، وبمقدار ما يكون الشق ضيقا بمقدار ما تكون الأهداب أكثر امتداداً وتباعداً. ففي كلتا الحالتين من أجل الثقب الدائري أو الشق يمكن اعتبار كل نقطة من صدر الموجة داخل الثقب أو الشق منبعا ثانويا جديدا يصدر بدوره مويجات كروية، ثم تتداخل المويجات المتناظرة بالنسبة للمركز مع بعضها البعض، فتعطي أهداب الانعراج التي نراها على شاشة المراقبة استنادا إلى مبدأ هويجنس – فرينل.

٣.٢ دراسة الانعراج :

بفرض لدينا حاجز عاتم يحتوي على فتحة صغيرة o، و التي تضاء من منبع بعيد جدا S وشاشة موازية لهذا الحاجز وقريبة منه D.



الشكل(٢-٤)[6]

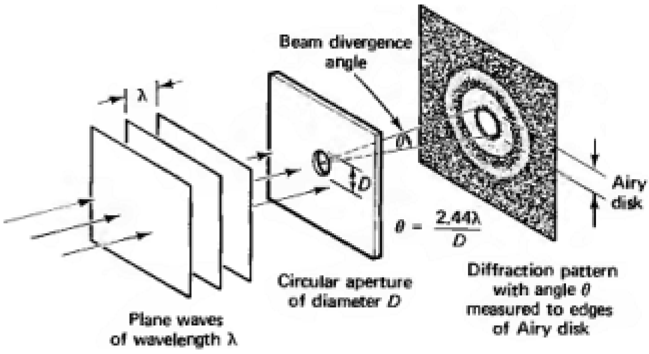
في ضوء هذه الشروط من السهل ملاحظة خيال الفتحة (ثقب) على الشاشة بوضوح على الرغم من وجود بعض الأهداب على المحيط الخارجي. عندما نحرك D إلى مسافة ابعد بالنسبة لـ o فان خيال أو صورة الفتحة يظل واضحاً، ولكن الأهداب تصبح أكثر وضوحاً.

هذه الظاهرة تسمى ظاهرة فرينل Fresnel أو انعراج الحقل القريب. أما من أجل مسافة كبيرة جداً بين D و o فان الشكل على اللوحة D يصبح منتشراً ويمكن أن ينطبق أو يشابه قليلا الفتحة المار منها الضوء، أي : ستتسع صورة الفتحة على الشاشة بشكل كبير حتى يعطي هيئة قريبة جدا للفتحة من الهيئة الطبيعية. وبعد ذلك أي تحريك بعيدا للشاشة سيسبب تغيرات في الحجم، وليس في الشكل، وهذا الانعراج يسمى انعراج فراونهوفر Fraunhofer أو انعراج الحقل البعيد من الضروري الإشارة إلى أنه في انعراج فراونهوفر إذا اقترب مصدر الضوء من الفتحة o فان الأمواج الكروية سوف تعبر الحاجز وسوف نحصل على انعراج فرينل. [6]

وفقاً لذلك تجري دراسة الانعراج وفق أسلوبين :

١- انعراج فراونهوفر : [1] [6] نسبة إلى العالم جوزيف فون فراونهوفر البصري الألماني Joseph von Fraunhofer (١٧٨٧-١٨٢٦) م، الذي اعتمد في دراسته للانعراج على استخدام حزمة متوازية من الضوء تسقط على حاجز صنع فيه فتحة صغيرة، بينما

تراقب الظاهرة على مسافات بعيدة عن الحاجز، ويقال في اللانهاية وعوضا عن ذلك تتم المراقبة في المستوي المحرقي لعدسة مقربة، و ذلك لأنه في المستوي المحرقي تتشكل أخيلة الأجسام الواقعة في اللانهاية. لهذا يدعى انعراج فراونهوفر أحيانا انعراج في اللانهاية ، وفيه نفترض أن الأشعة المتوازية تنعرج متوازية وتقوم العدسة بتجميعها في مستويها المحرقي.

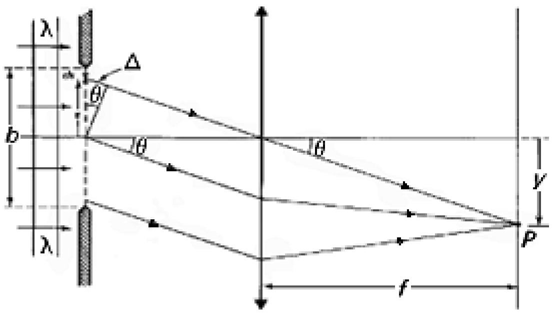


الشكل(٢-٥)[6]

٢- انعراج فرينل :[1] يسمى بالانعراج عند مسافة محدودة، حيث تجري دراسة الانعراج الناتج عن فتحة في لوح عاتم مضاء بموجة مستوية، وتتم مراقبة صورة الانعراج على لوح أخر وضع على مسافة محدودة من اللوح الأول. إلا أن انعراج فرينل يؤدي إلى حساب أكثر تعقيدا منه في حالة الانعراج في اللانهاية أي انعراج فراونهوفر.

بناءا على ما سبق سوف نهتم فقط بانعراج فراونهوفر، خصوصا أن انعراج فرينل ينتهي إلى انعراج فراونهوفر عندما نبعد الشاشة عن الشق، أو ننقص عرض الشق.

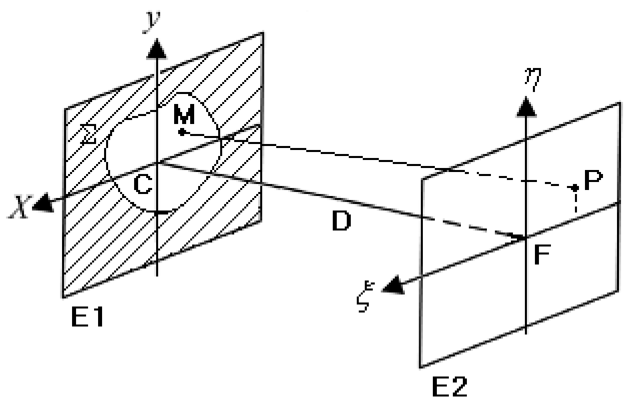
يبين الشكل (٢-٦) انعراج فراونهوفر باستخدام عدسة خلف الشق مباشرة لتشكل الصورة على شاشة موضوعة في مستويها المحرقي، ولان العدسة تجمع في مستويها المحرقي الثاني كل الضوء المنتشر في اتجاه معين، فإنها تشكل خيالا مصغرا للنموذج الذي يظهر على شاشة بعيدة بعدا لانهائيا في حالة رفع العدسة.



الشكل(٢-٦)[6]

٢.٣.١العلاقة بين تحويل فورييه وظاهرة الانعراج :[1][5][6]

سوف نقوم بحساب سعة الأمواج المتعرجة على فتحة، وسنعتمد في دراستنا على انعراج فراونهوفر أي الانعراج في اللانهاية. وعوضا عن مراقبة الظاهرة في اللانهاية، تتم مراقبته في المستوي المحرقي لعدسة مقربة، وذلك لأنه في المستوي المحرقي تتشكل أخيلة الأجسام الواقعة في اللانهاية. على اعتبار أن الأشعة المتوازية تنعرج متوازية وتقوم العدسة بتجميعها في مستويها المحرقي .



الشكل (٢-٧)[1]

إذا كانت سعة الموجة الساقطة على الفتحة $A_e(x,y,t)$، وكانت سعة الموجة على مخرجها هي $A_S(x,y,t)$، فأننا نعرف تابع الفتحة بالعلاقة : $f(x,y)=\frac{A_S}{A_e}$

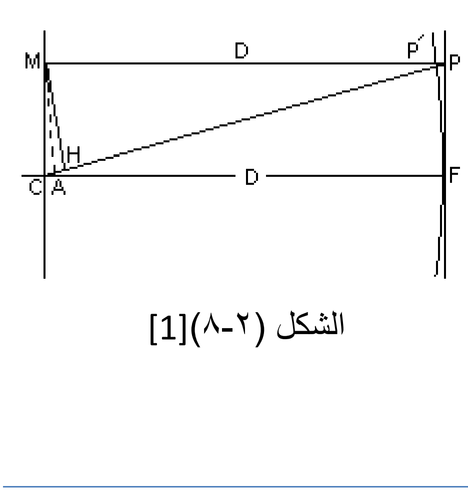
سوف نحسب سعة الموجة المنعرجة من نقطة $M(x,y)$ تابعة للفتحة الواردة إلى النقطة $P(\xi,\eta,D)$ من شاشة المراقبة ومن ثم نكامل على كامل الفتحة.

إن عبارة الموجة الساقطة في مركز الفتحة (C) هي $Ae^{-j\omega t}$، وعليه فان عبارة الموجة الساقطة في النقطة M تكون :

$$A_e(x,y,t)=Ae^{-j(wt+\varphi_0)}$$

φ_0: فرق الطور بين الموجتين والذي يساوي :

$$\varphi_0=\frac{2\pi}{\lambda}\Delta_0$$



الشكل (٢-٨)[1]

حساب فرق المسير Δ_0 يتم برسم كرة مركزها P

ونصف قطرها PM فنجد وبشكل تقريبي أن : $\Delta_0 = \overline{CH}$

إذا اعتبرنا أن : $\overline{FP}, \overline{CM}$ مسافات صغيرة بالمقارنة مع المسافة $\overline{CF} = D$ (فراونهوفر)
بالتالي يمكن اعتبار $\overline{HP} \approx \overline{MP} \approx D$ من المثلث القائم CMP نجد :

$$\overline{CP}^2 = \overline{PM}^2 + \overline{CM}^2$$

التي تكتب استنادا إلى ما سبق بالشكل :

$$(D + \Delta_0)^2 = D^2 + (x^2 + y^2)$$

$$D^2 + 2D\Delta_0 + \Delta_0^2 = D^2 + (x^2 + y^2)$$

وبإهمال Δ_0^2 لأنه صغير من المرتبة الثانية نجد : $\Delta_0 \approx \dfrac{x^2 + y^2}{2D}$

منه :

$$\frac{x^2 + y^2}{2D} = \left(\frac{\omega}{c}\right)\frac{x^2 + y^2}{2D} \qquad \varphi_0 = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)$$

بالتالي سعة الموجة الواردة في النقطة M تكون :

$$A_e(x, y, t) = A e^{-j\omega\left(t + \frac{x^2 + y^2}{2Dc}\right)}$$

أما سعة الموجة على مخرج الفتحة فهي : $A_s = f(x, y)A_e$

$$A_s = Af(x, y)e^{-j\omega\left(t + \frac{x^2 + y^2}{2Dc}\right)}$$

ألان لحساب سعة الموجة الواصلة إلى النقطة P في مستوي المراقبة ،نقول أن الموجة في P
هي نفسها الموجة التي كانت في M قبل زمن مقداره $\dfrac{\overline{MP}}{c}$ أي :

$$dF(\xi,\eta,t)=Af(x,y)e^{-j\omega(t-\frac{x^2+y^2}{2Dc}-\frac{\overline{MP}}{c})}$$

بما أن سعة الموجة الكروية تتناقص بما يتناسب عكسا مع البعد D نضرب بالمقدار $\frac{-j}{\lambda D}$

$$dF(\xi,\eta,t)=\frac{-j}{\lambda D}Af(x,y)e^{-j\omega(t-\frac{x^2+y^2}{2Dc}-\frac{\overline{MP}}{c})}$$

ومن الشكل (٢-٧) نلاحظ :

$$\overline{MP}=\sqrt{D^2+(x-\xi)^2.(y-\eta)^2}$$

$$=D\sqrt{1+\frac{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}{D^2}}\approx D[1+\frac{(x-\xi)^2.(y-\eta)^2}{2D^2}+...]$$

$$=D+\frac{x^2+y^2-2(x\xi+y\eta)+\eta^2+\xi^2}{2D}+...$$

$$=D+\frac{X^2+y^2}{2D}+\frac{\xi^2+\eta^2}{2D}-\frac{(x\xi+y\eta)}{D}$$

نعوض الناتج في العلاقة فنحصل على :

$$dF(\xi,\eta,t)=\frac{-j}{\lambda D}Af(x,y)e^{-j\omega(t-\frac{D}{c}-\frac{\xi^2+\eta^2}{2Dc}+\frac{(x\xi+y\eta)}{Dc})}$$

الحدود التي لا تتعلق بالفتحة تكتب لوحدها وهي الحدود المتعلقة بـ x,y:

$$dF(\xi,\eta,t)=\frac{-j}{\lambda D}Af(x,y)e^{-j\omega(\frac{(x\xi+y\eta)}{Dc})}e^{-j\omega(t-\frac{D}{c}-\frac{\xi^2+\eta^2}{2Dc})}$$

أما السعة التي نحصل عليها في مستوي المراقبة والصادرة من كامل الفتحة تنتج بتكامل هذه العلاقة على الفتحة Σ:

$$F(\xi,\eta,t)=\frac{-j}{\lambda D}Ae^{-j\omega(t-\frac{D}{c}-\frac{\xi 2+\eta 2}{2Dc})}\iint_{\Sigma} f(x,y)e^{-j\omega(\frac{x\xi+y\eta}{Dc})}dxdy$$

بما أننا لا نهتم بالسعة بل بالشدة : $I(\xi,\eta)=F.F^*$

فانه يمكننا إهمال الحد الآسي أمام التكامل وبأخذ السعة A=1 نتمكن من وضع العلاقة السابقة

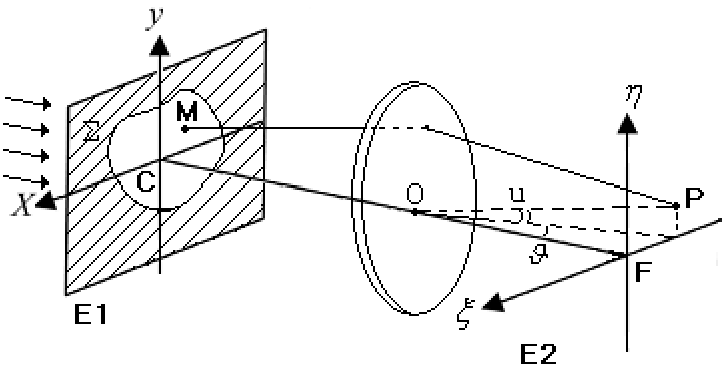
بالشكل : $$F(\xi,\eta)=\frac{-j}{\lambda D}\int\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{\xi}{D}x+\frac{\eta}{D}y)}dxdy$$

إن التقريب السابق يعني أننا إذا اعتبرنا النقطة P واقعة على الكرة ذات المركز c ونصف القطر CF، إي واقعة على صدر الموجة .كما أننا سوف نهمل الحد الموجود أمام التكامل في جميع ما سيأتي، وعندئذ تصبح العلاقة السابقة مطابقة لتحويل فورييه للتابع المميز للفتحة

والممثل بالعلاقة :

$$F(\xi,\eta)=\int\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{\xi}{D}x+\frac{\eta}{D}y)}dxdy$$

ونقول عندها أننا نحسب توزع السعات العقدية على صدر الموجة. يجب أن تكون الفتحة في المحرق الجسمي لعدسة مقربة ونراقب صورة الانعراج. في المستوي المحرقي الخيالي والأشعة الساقطة على الفتحة يجب أن تكون مستقيمة متوازية وعندئذ نضع D=F في العلاقة السابقة.



الشكل (٢-٩)[1]

إذا رمزنا للمقدارين : $u=\frac{\xi}{\lambda D}$ ، $\vartheta=\frac{\eta}{\lambda D}$

التي تمثل جيوب تمام التوجيه مضروبة بالمقدار $(\frac{1}{\lambda})$ الذي يدعى بالتواتر المكاني فان العلاقة السابقة تكتب :

$$F(u,\vartheta)=\int\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)e^{-j2\pi(xu+\vartheta y)}dxdy \quad \ldots.(١-٢)$$

إن سعة الموجة المنعرجة التي نتلقاها في المستوي المحرقي لعدسة مقربة يتطابق مع تحويل فورييه للتابع المميز للفتحة ، أي مع تابع العبورية.

٢.٣.٢ انعراج فرنل (الانعراج عند مسافة محدودة):[1][5]

لتكن فتحة صغيرة في لوح عاتم E1 مضاء بموجة مستوية، ولنراقب صورة الانعراج على لوح أخر E2 وضع على مسافة محدودة D من E1. ولنفرض أن أبعاد الفتحة والمسافة FP، حيث نريد حساب الموجة المنعرجة، صغيرة بالنسبة للمسافة D. ضمن هذه الشروط تعطى سعة الموجة في النقطة P بالعلاقة :

$$f(y,z)=\frac{e^{-jkD}}{D}\int\int_{T} e^{\frac{-jk}{2D}[(y-\eta)^2+(z-\xi)^2]}d\eta d\zeta$$

تدعى ظاهرة الانعراج في المستوي (y,z) باستخدام العلاقة المذكورة أعلاه بانعراج فرنل أو الانعراج إلى مسافة محدودة. يمكننا التعبير عن الجزء الحر من سطح الموجة بتابع من الشكل: $F(\eta,\zeta)$ الذي يأخذ قيمة داخل الفتحة وصفر في جميع نقاط الفراغ الأخرى، إذا تركنا جانبا الحد الموجود أمام التكامل السابق فان السعة في النقطة P تصبح :

$$f(y,z)=\int\int_{-\infty}^{+\infty} F(\eta,\zeta)e^{\frac{-jk}{2D}[(y-\eta)^2+(z-\xi)^2]}d\eta d\zeta$$

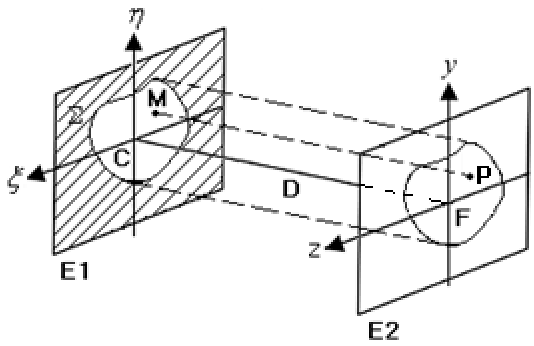
تبين هذه العلاقة بان السعة $f(y,z)$ في النقطة P هي الجداء الالتفافي للتابع $F(\eta,\zeta)$ بـ

$$e^{\frac{-jk}{2D}[(y-\eta)^2+(z-\xi)^2]}$$

التي تكتب بشكل رمزي على النحو التالي :

$$f(y,z)=F(y,z)\otimes e^{-jk\frac{y^2+z^2}{2D}} \quad .....(٢-٢)$$

وهكذا نجد أن انعراج فرنل يؤدي إلى حساب أكثر تعقيدا منه في حالة الانعراج في اللانهاية (فراونهوفر).



الشكل (٢-١٠)[1]

٢.٤ تحويل فورييه:

٢.٤.١مقدمة:

لقد شاع اسم تحويل فورييه للعالم Jean Baptiste Joseph Fourier (١٧٦٨-١٨٣٠)م وذلك تكريما له على اكتشافاته الرياضية وتفهمه للفوائد العلمية للتقنيات. لقد اهتم فورييه بانتشار الحرارة، ففي عام ١٨٠٧ قدم بحثا إلى المعهد الفرنسي حول استخدام الإشارات الجيبية لتمثيل التوزع الحراري. زعم فورييه في هذا البحث أنه يمكن تمثيل أية إشارة دورية على شكل مجموع لإشارات جيبية مختارة بشكل صحيح. في تلك الآونة كان من بين مشاهير الرياضيين لاغرانج Joseph Louise Lagrange (١٧٣٦-١٨١٣)م، الذي عارض بشدة وأصر على أن هذه الطريقة لا يمكن استخدامها لتمثيل الإشارات ذات الزوايا، أي ذات الميول المنقطعة كالإشارات المربعة. أما العالم لابلاس Pierre Simon Laplace (١٧٤٩-١٨٢٧)م و مجموعته أيدوا نشر البحث، كانت لهيبة لاغرانج في المعهد الفرنسي دورا في عدم منح الموافقة على النشر، ولم ينشر البحث إلا بعد موت لاغرانج بحوالي خمسة عشر عاماً. كان رأي لاغرانج مصيبا من ناحية أن مجموع عدة مركبات جيبية لا يمكن أن يشكل إشارة ذات زوايا، ولكن يمكن أن يكون قريبا منها، لدرجة أن الفرق في الطاقة بينهما يساوي الصفر، وهذا ما جعل فورييه محقا من جهة أخرى، مع العلم أن القرن الثامن عشر لم يعرف الكثير عن مفهوم الطاقة، تعرف هذه الظاهرة الآن بظاهرة جيبس Gibbs Effect.[3]

يستخدم تحويل فورييه في دراسة الظواهر الفيزيائية الخطية منها وغير الخطية. ويعتبر أداة رياضية قوية في دراسة الدارات الالكترونية وأنظمة الاتصالات وتحليل الإشارة ومعالجتها.

ويقوم علم الانعراج على معرفته، فهو يعتبر أساس علم استخلاص الإشارة من ضجيجها وإرسالها إلى مسافات بعيدة.[1]

٢.٤.٢ تعريف تحويل فورييه الرياضي :

١- تعريف تحويل فورييه لتابع لمتحول وحيد :[1] [5]

تحويل فورييه لتابع $g(x)$ حقيقي أو عقدي متحوله الموضع أو الزمن هو تابع للتواتر :

$$TF[g(x)] = G(f_x) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) e^{-j2\pi f_x x} dx \quad .....(٢-٣)$$

تحويل فورييه $G(f_x)$ تابع للمتحول f_x (التواتر) الذي يمكن أن يكون حقيقاً أو عقدياً.

٢- تعريف تحويل فورييه لتابع لمتحولين :

تحويل فورييه لتابع $g(x,y)$ حقيقي أو عقدي هو تابع للتواترات $G(f_x, f_y)$:

$$TF[g(x,y)] = G(fx, fy) = \int \int_{-\infty}^{+\infty} g(x,y) e^{-j2\pi(xf_x + yf_y)} dx dy \quad .(٢-٤)$$

الخلاصة : تحويل فورييه المباشر ينقلنا من ساحة أبعاد الموضع إلى ساحة التواترات.

٣.٤.٢ تحويل فورييه العكسي :[1] [5]

١- تحويل فورييه العكسي لتابع $G(f_x)$ لمتحول f_x (التواتر) هو تابع $g(x)$ لمتحول x :

$$TF^{-1}[G(f_x)] = g(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f_x) e^{j2\pi f_x x} df_x \quad ...(٢-٥)$$

٢- تحويل فورييه العكسي لتابع $G(f_x, f_y)$ لمتحولين f_x, f_y هو تابع $g(x,y)$ لمتحولين x, y :

$$TF^{-1}[G(f_x, f_y)] = g(x,y) = \int \int_{-\infty}^{+\infty} G(f_x, f_y).e^{j2\pi(xf_x + yf_y)} df_x df_y \quad (٢-٦)$$

نستنتج أن تحويل فورييه المباشر والعكسي عمليتان رياضيتان متشابهتان تماماً، ولا تختلفان إلا بالإشارة (-) أمام الأس في الحد الأسي.

$$TF^{-1}TF[g(x,y)] = TFTF^{-1}[G(fx,fy)] = g(x,y) \quad ....(٢-٧)$$

تدعى هذه الخاصية بالتبادلية .

الخلاصة : تحويل فورييه العكسي ينقلنا من ساحة أبعاد التواترات إلى ساحة الموضع.

٢.٤.٤ خواص رياضية مهمة : [1]

إذا كان $g(x)$ تابعا حقيقا وكان تحويل فورييه له هو $G(f_x)$ ، فان مرافقه $\overset{*}{g}(x)$ يحقق الخواص التالية :

$$g^*(x) = g(x)$$

$$G(f_x) = G^*(-f_x)$$

$$G^*(f_x) = G(-f_x)$$

- إذا كان $g(x)$ تابعا حقيقيا زوجياً : $g(x) = g^*(x) = g^*(-x)$

$$G(f_x) = G^*(f_x) = G^*(-f_x)$$

- إذا كان $g(x)$ تابعا حقيقا فردياً :

$$g(x) = -g(x) = g^*(x)$$

$$G(f_x) = -G^*(-f_x) = G^*(f_x)$$

٢.٤.٥ تابع دلتا(نبضة ديراك) : [1] [5]

يرمز له بالرمز $\delta(x)$ ويمثل نبضة كبيرة من الطاقة عرضها صغير جدا يعرف بالشكل :

$$\delta(x) = \begin{cases} \infty & , x = 0 \text{ عندما} \\ 0 & , x \neq 0 \text{ عندما} \end{cases}$$

الصيغ الرياضية الممثلة له :

$$\delta(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j2\pi f_x x} df_x$$

أخرى

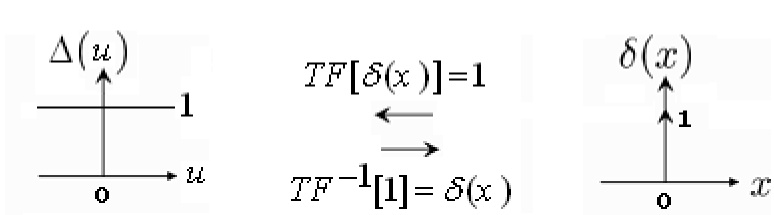
$$\delta(x) = \lim_{k \to \infty} \frac{\sin kx}{kx}$$

أخرى

$$\delta(x) = \lim_{N \to \infty} N e^{-N^2 \pi x^2}$$

قيمة تابع ديراك معدومة في جميع نقاط الفراغ ما عدا نقطة البدء $(x = 0)$، عندها تكون قيمته لانهائية، أي يمكن أن نقول انه خط طيفي ذا عرض معدوم أو وحيد اللون تماما ويمثل دوما بسهم في مبدأ الإحداثيات وقيمته المنظمة تساوي (١).

أما تابع ديراك نظرياً فيمثل نبضة لم تحدث بعد، لأن كل عمل حقيقي يجب أن يحدث خلال فترة من الزمن وفي حيز من المكان. وبالتالي هو كالشعاع الوحيد اللون مستحيل المنال.



الشكل(٢-١١)[1]

وبشكل تقريبي نقبل عندما يكون زمن النبضة ومكان حدوثها لا متناهيان في الصغر، أن نضع $x \approx 0$ عندها نحصل عمليا على تابع ديراك.

٢.٤.٥.١ تحويل فورييه لتابع ديراك :[1] [5]

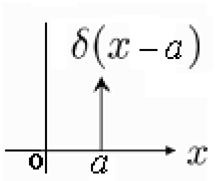
إن تحويل فورييه لتابع ديراك يساوي الواحد دوما كما في الشكل السابق (٢- ١١)

$$TF[\delta(x)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x).e^{-j2\pi f_x x} dx = 1$$

تابع ديراك يشبه المنبع النقطي، لأن الشدة الصادرة من المنبع النقطي في المنبع النقطي تكون كبيرة (لانهائية) و تكون معدومة في جميع نقاط الفراغ.

في حالة عدم انطباق التابع على مبدأ الإحداثيات يعرف عندها تابع ديراك على النحو التالي:

$$\delta(x-a)=\begin{cases}\infty & \text{، عندما } x=a \\ 0 & \text{، عندما } x\neq a\end{cases}$$



الشكل(٢-١٢)[1]

تحويل فورييه له :

$$TF[\delta(x-a)]=\int_{-\infty}^{+\infty}\delta(x-a)e^{-j2\pi f_x x}\,dx$$

$$TF[\delta(x-a)]=e^{-j2\pi a f_x}\int_{-\infty}^{+\infty}\delta(x)e^{-j2\pi f_x x}\,dx=e^{-j2\pi f_x a}$$

حيث طبقنا الخاصية الإنسحابية :

$$TF[\delta(x-a)]\quad \overset{\leftarrow}{\rightarrow}\quad e^{-j2\pi f_x a}$$

نلاحظ أن تابع ديراك ليس تابعاً رياضيا بالمعنى الرياضي للكلمة لذا يطلق عليه توزيع ديراك ضمن المعنى الذي أعطاه العالم شوارتز L.Schwartz.

٢.٥ دراسة المنظومات الضوئية الخطية :

سوف نتعامل مع المنظومات المستمرة (continuous system)، التي تكون إشارات دخلها وخرجها مستمرة، لأنها تعالج العديد من الظواهر الأساسية كالالتفاف (Convolution) و الارتباط (Correlation)، والتي ترتكز عيها العديد من التطبيقات والتقنيات الحديثة.

إن أغلب المنظومات النافعة تنتمي إلى فئة المنظومات الخطية، وهي حقيقة هامة جدا فبدونها سنكون مجبرين على اختبار المميزات الفردية للعديد من المنظومات.[3]

٢.٥.١ مميزات المنظومات الخطية : تصمم المنظومة الخطية بحيث لا تتغير مميزاتها خلال عملها ولا تتأثر بظروف معينة. و حتى تكون المنظومة خطية يجب أن تحقق شرطين أساسيين بالإضافة إلى شروط أخرى :[3]

١- التجانس (homogeneity) شرط أساسي : أي تغير في مطال إشارة الدخل سيؤدي إلى نفس التغير في مطال إشارة الخرج : $x(t)\rightarrow y(t)$

٢- الجمع (Additivity) شرط أساسي : إذا كان لدينا إشارتي دخل : $x_1(t), x_2(t)$ وإشارتي خرج $y_1(t), y_2(t)$ فإن جمع إشارتي الدخل سيعطي جمع لإشارتي الخرج

$$x_1(t)+x_2(t)\rightarrow y_1(t)+y_2(t)$$

٣- الثبات مع الزمن (time Invariance) شرط غير أساسي : خاصية مهمة وتعني أن خصائص المنظومة ثابتة لا تتغير بتغير الزمن، وأي تغير مفاجئ في الدخل سيسبب تغيرا محدودا في الخرج.

إضافة لذلك هناك بعض الخواص المعتمدة عند دراسة المنظومات الخطية منها :[3]

الخطية الساكنة (static) و الأمانة الجيبية (sinusoidal fidelity)

فالخطية الساكنة : تحدد استجابة المنظومة لإشارات الدخل غير المتغيرة أي أن الخرج هو الدخل مضروبا بثابت.

أما الأمانة الجيبية : فتحدد في حال كون دخل المنظومة موجة جيبية فإن الخرج سيكون أيضاً موجة جيبية وله نفس تردد إشارة الدخل. إن الموجة الجيبية هي الموجة الوحيدة التي تمتلك هذه الخاصية مع الانتباه إلى إمكانية الاختلاف بالمطال والطور.

٢.٦ الالتفاف :

٢.٦.١ تعريف الالتفاف : [1] [3][7]

الالتفاف هو دراسة ضم إشارتين والحصول على إشارة ثالثة، حيث يتم ضم إشارة الدخل مع استجابة المنظومة النبضية والحصول على إشارة الخرج. ولكن في جميع المنظومات الضوئية أو غيرها دائما نسعى عندما نتعامل مع البيانات و المعلومات ، كالإشارات الرقمية مثلا وأردنا تصميم منظومة الكترونية أو ضوئية، أن تتعامل مباشرة مع هذه الإشارات، مع ضرورة الحصول على إشارة الدخل دون أي تعديل أو تشويش. ويعتمد ذلك على الجهاز أو النظام المستخدم حيث يمتلك كل جهاز أو نظام استجابة خاصة مميزة له، على سبيل المثال خيال نقطة في جهاز ضوئي (عدسة ، مرآة ...) لا يمكن أن تكون نقطة تماما بل بقعة، وهذه البقعة تكون كبيرة أو صغيرة بحسب نوعية الجهاز وتدعى بقعة الانعراج. علاوة على ذلك قد تكون هذه الاستجابة ثابتة مع الزمن، كما في الأنظمة الخطية وقد تكون استجابة غير ثابتة كما في الأنظمة اللاخطية.[3]

وعلى فرض أن المنظومة خطية و أن إشارة الدخل $f(x)$ عندها ستكون إشارة الخرج $S(x)$، فإذا كانت $h(x)$ فهذا يعني إدخال إشارتين الأولى هي إشارة الدخل والثانية استجابة النظام للحصول على



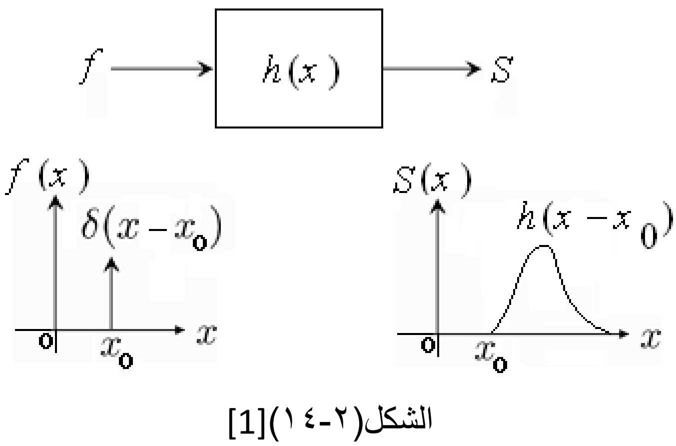
الشكل(٢-١٣)[7]

إشارة واحدة هي إشارة الخرج. ويمكن القول أن الالتفاف هو الأثر الذي ينتج عن أداة قياس (جهاز ، نظام معين) يؤدي إلى صورة غير دقيقة للإشارة الداخلة عليها، فإذا كان الجهاز جهازاً ضوئياً فإنه لا يمكن أن يعطي لنقطتين قريبتين جدا من بعضهما خيالين متمايزين، إلا إذا كان البعد بين النقطتين أكبر من مسافة أصغريه تحددها القدرة الفاصلة للجهاز. على سبيل المثال نصادف في مجال الالكترونيات حالات مشابهة فعند إدخال نبضة (impulse) ذات أمد زمني قصير جدا على مضخم فإنه لا يمكن الحصول أبدا على مخرج المضخم على نبضة لها الأمد الزمني نفسه بل يمكن الحصول على إشارة يتعلق أمدها الزمني بالعصابة النافذة للمضخم تدعى الاستجابة النبضية للجهاز.[1]

لما كان الجهاز يترجم إشارة ذات أمد زمني قصير جدا إلى إشارة ذات أمد زمني أطول، فانه سوف يشوه أية إشارة تدخل عليه. فإذا عرفنا الاستجابة النبضية للجهاز $h(x)$، وإشارة الدخل $f(x)$ فانه بإمكاننا حساب إشارة الخرج $S(x)$. إن حل هذه المسألة هو بالتحديد إيجاد معادلة الالتفاف.[1]

فلو أدخلنا على الجهاز نبضة ممثله بتابع ديراك $\delta(x)$، فإننا نحصل على الخرج على الاستجابة النبضية للجهاز التي نرمز لها بـ $h(x)$ التي تكون أكثر عرضا من إشارة الدخل ومتمركزة حول مبدأ الإحداثيات.

أما استجابة الجهاز لنبضه منزاحة بالمقدار x_0، أي للنبضة الممثلة بالتابع $\delta(x-x_0)$ فهي $h(x-x_0)$ أي أنها تكون منزاحة بالمقدار x_0 أيضاً.



الشكل(٢-١٤)[1]

٢.٦.٢معادلة الالتفاف :[1][5]

على فرض أن إشارة الدخل $f(x)$ وإشارة الخرج $S(x)$، أما $h(x)$ تمثل استجابة النظام عندها تعطى معادلة الالتفاف بالعلاقة التالية :

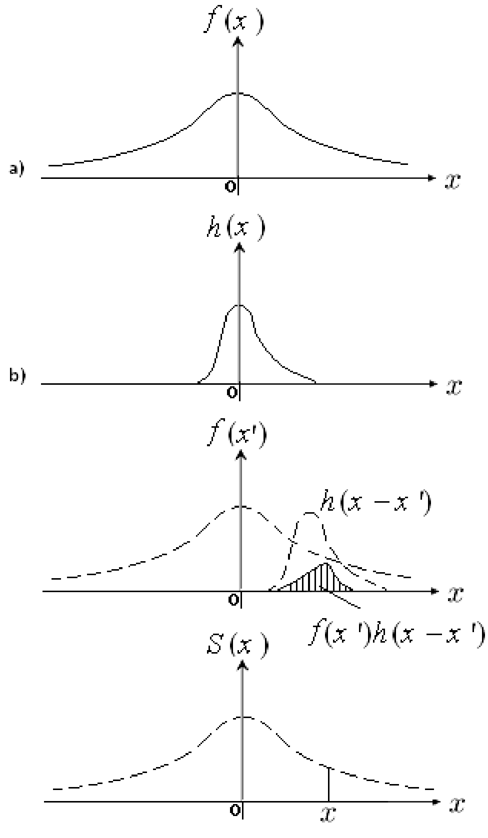
$$S(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x')h(x-x')dx' \quad ....(٢-٨)$$

وتكتب بالشكل الرمزي على النحو التالي :

$$S(x) = f(x) \otimes h(x) \quad ....(٢-٩)$$

٣.٦.٢ التمثيل الفيزيائي لعملية الالتفاف:

يبين الشكل (٢-١٥) تمثيل حقيقي لعملية الالتفاف حيث يوضح الشكل (٢-١٥)/(a) إشارة الدخل والشكل(٢-١٥)/(b) الاستجابة النبضية للجهاز .للحصول على الشكل الممثل لعملية الالتفاف يجب أولا استنتاج التابع $h(x-x')$، ولذلك نقلب المنحني الممثل للتابع $h(x)$ وذلك بعملية دوران حول المحور الشاقولي بزاوية (π) ومن ثم نسحبه بالمقدار x' ثم نقوم بعملية ضرب $f(x')$ بـ $h(x-x')$ نقطة نقطة. وأخيرا نكامل الجداء الناتج فنحصل على الالتفاف في النقطة x.[1]



الشكل (٢-١٥)[1]

٤.٦.٢ الالتفاف وتحويل فورييه (نظرية بلانشيريل):[1] [5]

إن تحويل فورييه لالتفاف تابعين يساوي جداء تحويل فورييه لكل منهما والعكس بالعكس.

أي : $$TF[g_1(x) \otimes g_2(x)] = G_1(f_x).G_2(f_x) \quad ....(٢-١٠)$$

$$TF^{-1}[G_1(f_x).G_2(f_x)] = g_1(x) \otimes g_2(x) \quad ....(١١-٢)$$

حيث : $G_1(f_x) = TF[g_1(x)]$ ، $G_2(f_x) = TF[g_2(x)]$

أي أن تحويل فورييه يحول عملية التفاف تابعين إلى جداء طيفيهما، كما يحول عملية الجداء إلى عملية التفاف.تسمى عملية الالتفاف أيضا بالجداء الالتفافي أو الجداء المركب. من الضروري الإشارة إلى أن تابع ديراك هو العنصر الحيادي في عملية الالتفاف.

$$g(x) \otimes \delta(x) = g(x)$$

٧.٢ الارتباط :

إن عملية الارتباط عملية مشابهة جدا لعملية الالتفاف، حيث يتم إدخال إشارتين في منظومة لنحصل على إشارة ثالثة كما في الالتفاف تماماً. إلا انه يعتبر تقنية مثالية لكشف إشارة معينة موجودة على خلفية الضجيج أو كشف التشابه بين إشارتي دخل أو التمييز بينهما.[3]

١.٧.٢ العلاقة بين الالتفاف والارتباط :[7]

كما ذكرنا سابقا أن كل من عمليتي الالتفاف والارتباط متشابهتين. أما الاختلاف الوحيد فيكمن في أن إشارة الدخل في عملية الالتفاف تكون معكوسة زمنياً، وهو شي غير موجود في عملية الارتباط. وعليه يمكن تمثيل الارتباط باستخدام علاقة الالتفاف، وهذا يتطلب عكس إحدى الإشارتين الخاضعتين للارتباط، الشيء الذي يعوض عملية العكس الأصلية في الالتفاف :

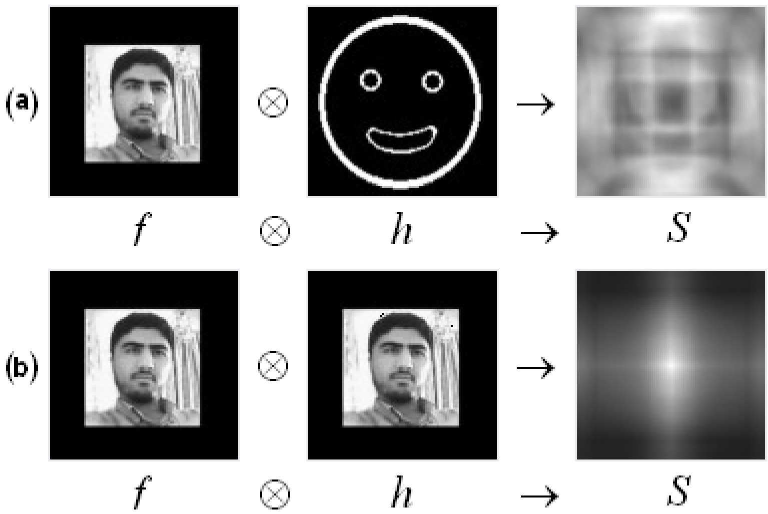
إن العلاقة (٢-٨) هي التمثيل الرياضي لعملية الالتفاف لكل من إشارتي الدخل f, h :

١- نسمي الإشارة الثالثة الممثلة لإشارة الخرج S بالترابط التبادلي Cross-correlation

لإشارتي الدخل f, h عندما : $f \neq h$ الشكل(٢-١٦)/(a)

٢- نسمي الإشارة الثالثة الممثلة لإشارة الخرج S بالترابط الذاتي Auto-correlation

لإشارتي الدخل f, h عندما : $f = h$ الشكل(٢-١٦)/(b)



الشكل(٢-١٦)[محاكاة حاسوبية خاصة]

٢.٧.٢ تعريف الارتباط التبادلي :[1] Cross-correlation

إذا كان $g_2(x), g_1(x)$ تابعين للمتحول x فإننا نعرف الارتباط التبادلي بالعلاقة :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} g_1(x')g_2^*(x'-x)dx' = g_1(x) \otimes g_2^*(-x) \quad ...(٢-١٢)$$

أما تحويل فورييه للارتباط التبادلي فيكتب على النحو :

$$TF[g_1(x) \otimes g_2^*(-x)] = G_1(f_x).G_2^*(f_x) ...(٢-١٣)$$

أو يكتب بالشكل : $TF[g_1(x) \otimes g_2^*(x)] = G_1(f_x).G_2^*(-f_x)$

٣.٧.٢ تعريف الارتباط الذاتي : [1] Auto correlation

يعرف الارتباط الذاتي بأنه ارتباط التابع بنفسه فإذا كان $g(x)$ تابعا للمتحول (x) فان الارتباط الذاتي له هو :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} g(x')g^*(x'-x)dx' = g(x) \otimes g^*(-x) \quad ...(٢-١٤)$$

أما تحويل فورييه للارتباط الذاتي فهو مربع طويلة تحويل فورييه للتابع $g(x)$ لان :

$$TF[g(x)\otimes g^*(-x)] = G(f_x).G^*(f_x) = |G(f_x)|^2 \quad ...(٢-١٥)$$

أما إذا كان $g(x)$ تابعا حقيقيا زوجيا فان الارتباط الذاتي يصبح : $g(x)\otimes g(x)$

وتحويل فورييه هو : $$TF[g(x)\otimes g(-x)] = |G(f_x)|^2$$

لما كانت عين الإنسان حساسة للشدة I التي تساوي مربع السعة $I = |G(f_x)|^2$ فإن ما نشاهده في مستوي المراقبة هو المقدار $|G(f_x)|^2$. وعليه يمكن الاستنتاج أن :

ما يشاهد في مستوي المراقبة يتطابق مع تحويل فورييه لتابع الارتباط الذاتي للتابع المعبر عن الفتحة (تابع العبورية) التي ينعرج عنها الضوء.

الفصل الثالث

الأنواع المختلفة للهولوغرام

Different Kinds of Holograms

الأنواع المختلفة للهولوغرام

Different Kinds of Holograms

٣.١ مقدمة :

الهولوغرافيا أو التصوير ثلاثي الأبعاد طريقة جديدة يمكن من خلالها إعادة بناء صورة أو خيال للجسم بالاعتماد على شكل أهداب الانعراج التي يعطيها الجسم. وكلمة Holography مشتقة من الكلمتين الإغريقيتين Holo وتعني كاملا و Graphos وتعني كتابة [2]. وأول من قام بهذا العمل العالم Dennis Gabor في عام ١٩٤٨م، عندما كان يحاول أن يحسن من القدرة التحليلية للمجهر الالكتروني. واجه العالم غابور الكثير من المشاكل، حيث يحتاج التصوير ثلاثي الأبعاد (الهولوغرافيا) إلى ضوء وحيد اللون لتسجيل الهولوغرام (الفلم) أو لعرضه لتحقيق شروط التداخل، ولم تتوفر في تلك الأيام منابع وحيدة اللون لأن الليزر لم يكتشف إلا في عام ١٩٦٠ م. عندها لجأ كما ذكرنا سابقا إلى استخدم ضوء مصباح بخار الزئبق الذي يصدر ضوء أزرق أحادي اللون، واستخدم مرشح ضوئي ليحصل على ضوء وحيد اللون. وبعد اكتشاف الليزر قام علماء من جامعة Michigan في عام ١٩٦٢م (J.Upatnieks & F.N.Leith) بتعديلات كثيرة على طريقة Dennis Gabor وجعلوها فعالة جداً.[1]

٣.٢ إنشاء وإعادة بناء الهولوغرام :

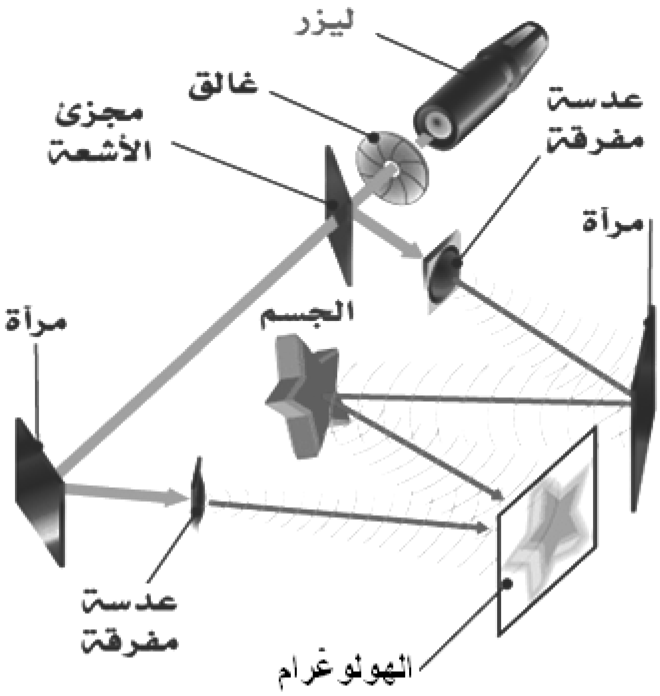
٣.٢.١ إنشاء الهولوغرام: [2][1][4]

إن التصوير الهولوغرافي يعتمد في تسجيل المعلومات على الهولوغرام على كل من شدة وطور الحزمة المنعرجة عن الجسم المراد تصويره. وهنا يكمن الاختلاف عن التصوير الفوتوغرافي العادي. لذلك كان من الضروري استعمال ضوء وحيد اللون يمتلك طوراً واحداً على طول الشعاع الضوئي، مع بقاء المواضع النسبية لكل من الجسم واللوح وحزمة الليزر ثابتة مع مرور الزمن، بحيث لا يتعدى التغير في الموضع مقدار نصف الطول الموجي لأشعة الليزر، حتى لا تختفي معالم التداخل. ومن ناحية أخرى يجب أن تكون شدة تحليل لوح التصوير عالية وتساوي على الأقل 2000 lines/mm لتسجيل أهداب التداخل.

تقسم الحزمة الواردة من المنبع الضوئي الوحيد اللون إلى حزمتين :

الحزمة الأولى : تضيء لوح التصوير مباشرة دون المرور بالجسم، وتدعى بالحزمة المباشرة أو الحزمة المرجعية. وهي مسؤولة عن تسجيل البعد الثالث أو تشكيل خلفية مترابطة للصورة.

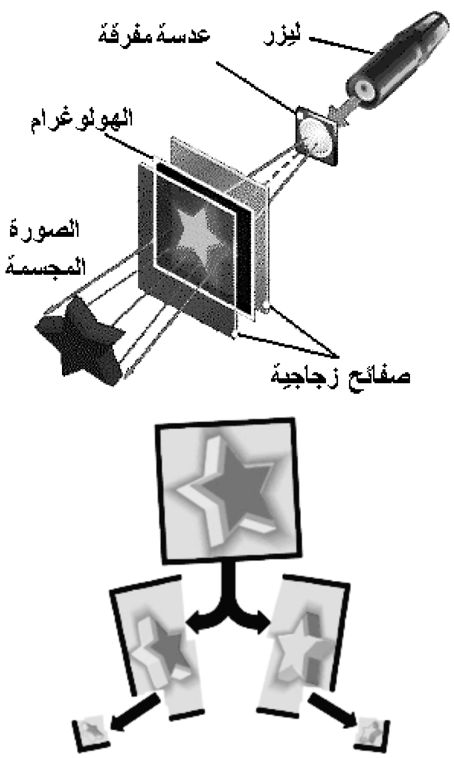
الحزمة الثانية : تنعرج عن الجسم إلى لوح التصوير تدعى بحزمة المعلومات، لأنها تحمل معها جميع المعلومات المتعلقة بالجسم نتيجة سقوطها على الجسم، حيث نحصل على المعلومات على شكل تغيرات في شدة وطور الحزمة المنعرجة. تتداخل الحزمتان على لوح التصوير الذي يسمى بعد تحميضه بالهولوغرام، الذي لا نشاهد عليه أي صورة كما في التصوير العادي وإنما نشاهد عليه دوائر وخطوط لا تعكس تفاصيل المشهد أو الجسم الذي تم تصويره.



الشكل(٣-١)[4]

٢.٢.٣ إعادة البناء :[4][1]

يضاء الهولوغرام الناتج عن التصوير بالضوء الوحيد اللون الذي استخدم في إنشاؤه نفسه، عندها نستطيع أن نرى من خلال الهولوغرام صورة مجسمة ثلاثية الأبعاد في الهواء. ومن الجدير بالذكر أن الهولوغرام الناتج إذا قمنا بتجزئته إلى أجزاء، يعطي عند النظر إليه الصورة بأكملها، وهذا لا يتحقق في الفلم العادي الذي يعطي جزء من الصورة الملتقطة.



الشكل(٣-٢)[٤]

٣.٣ هولوغرام غابور Gabor : [1]

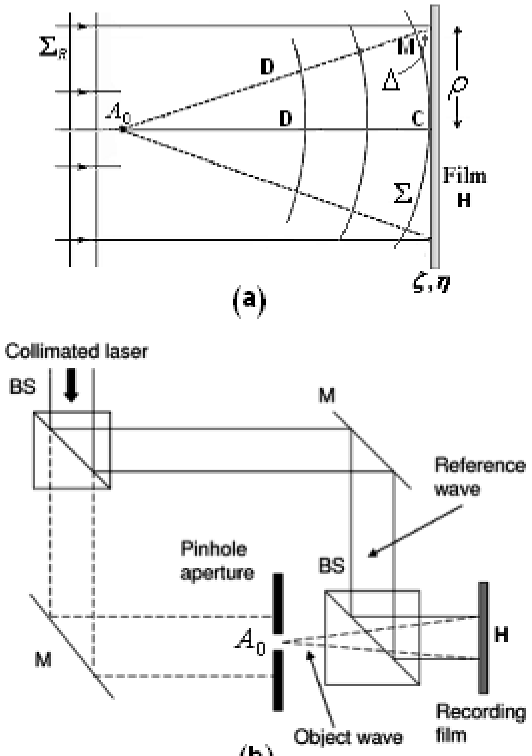
قام العالم غابور بانتاج هولوغرام من أجل نقطة مضيئة، والسبب أن شرط الحصول على خلفية مترابطة للصورة كان صعبا للغاية في عام ١٩٤٨م، لعدم توفر المنابع الضوئية وحيدة اللون بما فيه الكفاية كما ذكرنا ذلك سابقاً. وبالتالي اذا كان الجسم كبيراً، فيجب أن يكون طول ترابط الضوء المستخدم كبيرا بشكل كاف لكي يتم التدخل بين الحزمتين المباشرة والمنعرجة عن الجسم ،أي تحقيق شروط التداخل. لذلك قام العالم باختيار ابسط الحالات لدراستها وهي الحالة التي يكون فيها الجسم عبارة عن نقطة مضيئة.

٣.٣.١هولوغرام نقطة مضيئة: [1]

١- تسجيل الهولوغرام بورود عامودي للحزمة المرجعية :

إنتاج هولوغرام لنقطة مضيئة A_0 يمكن اعتبارها منبعا نقطيا وتؤلف الجسم المدروس، بالتأكيد سيصدر عنها حزمة كروية $\sum$ وهي تمثل الحزمة الحاملة للمعلومات، والتي تسقط على الهولوغرام H (لوح التصوير) في المستوي ζ,η. بالإضافة إلى موجة أخرى مستوية $\sum_R$ التي تمثل الحزمة المباشرة (الحزمة المرجعية) وتسقط عاموديا على نفس المستوي ζ,η كما في الشكل (٣-٣)/(a).

إن كل من الحزمة $\sum$ والحزمة $\sum_R$ يصدران بالأصل من منبع واحد كما في الشكل (٣-٣)/(b) أي أن الحزمتين مترابطتين.



الشكل (٣-٣)[7]

بالنظر إلى الشكل (٣-٣)/(a)

وحسب فيثاغورث في المثلث القائم :

$$(D+\Delta)^2 = D^2 + \rho^2 \Rightarrow D^2 + \Delta^2 + 2D\Delta = D^2 + \rho^2$$

Δ^2: مهمل لصغره، بالتالي فرق المسير يكون : $\Delta = \dfrac{\rho^2}{2D}$

فرق الطور الناتج عن فرق المسير : $\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta = k\,\Delta = k\,\dfrac{\rho^2}{2D}$

تصل الى الهولوغرام موجتان سعة الموجة الاولى $\sum_R$ هي : $y_1 = a$

سعة الموجة الثانية $\sum$ هي : $y_2 = be^{-j\varphi}$

سعة الموجة الحاصلة هي مجموع السعتين : $y = y_1 + y_2 \Rightarrow y = a + be^{-j\varphi}$

أما شدتها فتعطى بضرب السعة الحاصلة بالمرافق العقدي على النحو التالي :

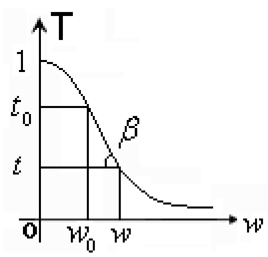
$$I = y.y^* = (a + be^{-j\varphi})(a + be^{j\varphi}) = a^2 + b^2 + abe^{-j\varphi} + abe^{j\varphi}$$

$$= a^2 + b^2 + 2ab\cos\varphi = (a-b)^2 + 4ab\cos^2\varphi$$

تتشكل أهداب التداخل على شكل حلقات ويكون التباين في الاهداب اعظمياً عندما $a = b$

لحساب مقدار الطاقة التي يتلقاها لوح التصوير خلال زمن تعريض τ : $w = I\tau$

$$w = \tau((a-b)^2 + 4ab\cos^2\varphi)$$



الشكل(٣-٤)[1]

بعد تحميض الفلم تكون سعة الموجة التي تعبر الفلم t متناسبة مع w. سندرس المنطقة الخطية من منحني $t = f(w)$ والتي لا تكون فيها أهداب التداخل متباينة كثيرا أي عندما $a \neq b$:

$$(t - t_0)/(w - w_0) = -\beta \Rightarrow t = t_0 - \beta(w - w_0)$$

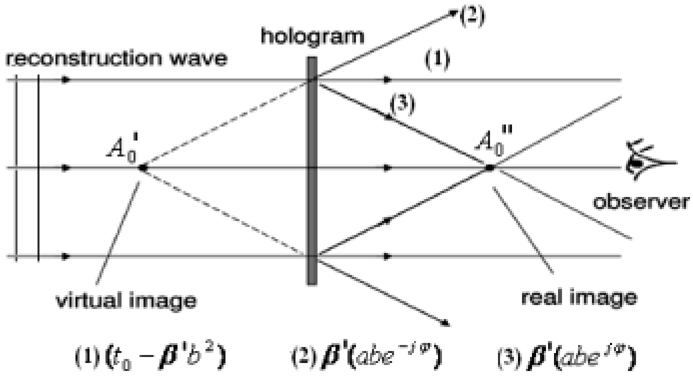
بفرض : $w_0 = I_0\tau = \tau a^2$ ، $\beta' = \beta\tau$ عندها تابع العبورية للفلم (الهولوغرام) يعطى بالعلاقة :

$$t = (t_0 - \beta' b^2) - \beta'(abe^{-j\varphi}) - \beta'(abe^{j\varphi}) \quad ....(١-٣)$$

إن الفلم الذي حصلنا عليه يمثل هولوغرام الجسم A_0 (هولوغرام نقطة مضيئة).

٢- اعادة تشكيل الخيال:[1]

كما ذكرنا سابقا يتطلب اعادة بناء الصورة المجسمة اضاءة الهولوغرام الناتج H، بموجة مستوية متجانسة لضوء وحيد اللون (الليزر) اشعتها متوازية وعمودية على الهولوغرام، أي بنفس زاوية ورود الحزمة المرجعية $\sum_R$ عند تسجيل الهولوغرام. إن سعة الضوء النافذ أو السعة التي تعبر الفلم (الهولوغرام) محددة بالعلاقة (٣-١) التي يمكن تفسيرها حدودها على النحو التالي :



الشكل(٣-٥)[7]

الحد الاول : $(t_0-\beta' b^2)$ يوافق موجة منتظمة لا تحمل اية معلومات وهي الموجة التي تعبر الهولوغرام مباشرة.

الحد الثاني : $\beta'(abe^{-j\varphi})$ يتطابق مع الموجة الصادرة من A_0، وهي موجة كروية متباعدة تبدو وكأنها قادمة من النقطة A_0' الواقعة على مسافة D من الهولوغرام، أي في الموضع الذي كان فيه الجسم النقطي A_0، وبذلك تم اعادة خيال وهمي A_0' للمنبع A_0.

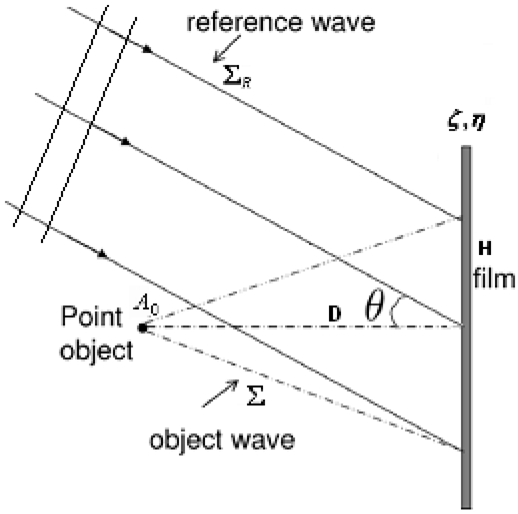
الحد الثالث : $\beta'(abe^{j\varphi})$ يوافق موجة كروية متقاربة تعطي في النقطة A_0'' امام الهولوغرام وعلى مسافة D خيالا حقيقيا للجسم النقطي A_0.

٤.٣ هولوغرام J.Upatnieks & F.N.Leith : [1][7]

١- تسجيل الهولوغرام بورود مائل للحزمة المرجعية :

ذكرنا فيما سبق أن العالم غابور قام بانشاء هولوغرام لنقطة مضيئة، الا أن طريقته في تسجيل البعد الثالث لم تكن ملائمة، لاننا عندما نحاول النظر داخل الهولوغرام لرؤية الخيال الوهمي A_0'، فسوف يعيقنا وجود الخيال الحقيقي A_0'' لاننا سننظر اليه من خلف الهولوغرام. وتبرز المشكلة بشكل واضح من أجل الاجسام الكبيرة على خلاف النقطة المضيئة. وكان الحل الامثل لمثل هذه المشكلة الطريقة التي طورها كل من العلماء (J.Upatnieks & F.N.Leith)

من جامعة Michigan في عام ١٩٦٢م بعد اكتشاف الليزر وقد ذكرنا ذلك سابقا في المقدمة. تقتضي هذه الطريقة استخدام حزمة متوازية من الضوء وحيد اللون كحزمة مرجعية $\sum_R$ تماما كما في هولوغرام غابور، ولكن تسقط هذه الحزمة على الهولوغرام بزاوية ورود θ كما في الشكل (٣-٦).



الشكل (٣-٦)[7]

يصل الى الهولوغرام موجتان :

سعة الموجة الاولى $\sum_R$: $y_1 = ae^{-jk\theta\zeta}$

سعة الموجة الثانية $\sum$: $y_2 = be^{-j\varphi}$

حيث : $\varphi = \frac{k}{2D}(\eta^2 + \zeta^2)$

إن سعة الموجة الحاصلة هي مجموع السعتين:

$$y = y_1 + y_2$$

وعليه تكون الشدة :

$$I = y.y^* = (ae^{-jk\theta\zeta} + be^{-j\varphi})(ae^{jk\theta\zeta} + be^{j\varphi})$$

$$I = a^2 + b^2 + abe^{-j\varphi}e^{jk\theta\zeta} + abe^{j\varphi}e^{-jk\theta\zeta}$$

$$I = a^2 + b^2 + abe^{-j(\varphi - jk\theta\zeta)} + abe^{j(\varphi - jk\theta\zeta)} \quad ...(٣-٢)$$

بعد تحميض الفلم واظهاره نحصل على الهولوغرام .

٢- اعادة تشكيل الخيال :

يمكن إعادة بناء الصورة بطريقتين مختلفتين هما :

أ. اظهاره بموجة a مستوية اشعتها متوازية ومعامدة للهولوغرام :

عندها تعطى سعة الموجة التي تعبر الهولوغرام عن طريق تابع العبورية للفلم:

$$at = a(t0 - \beta' b^2) - \beta' a^2 be^{-j(\varphi - jk\theta\zeta)} - \beta' a^2 be^{j(\varphi - jk\theta\zeta)}$$

يدل الحد الاول : $a(t0 - \beta' b^2)$ على الحزمة المباشرة.

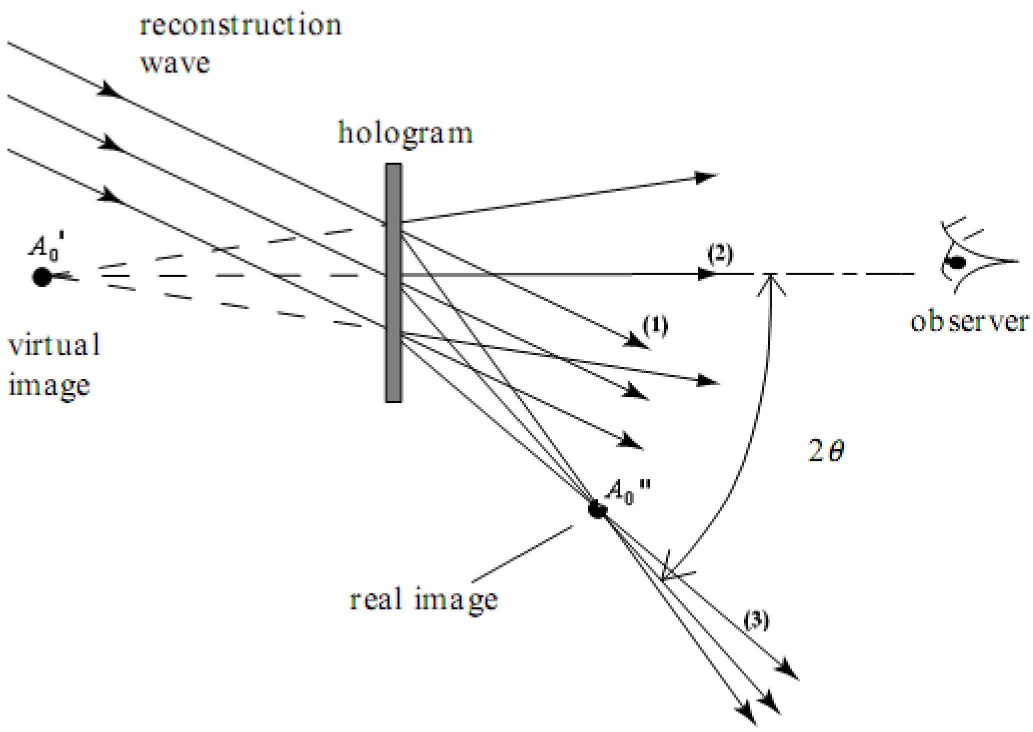
ويمثل الحد الثاني : $\beta' a^2 b e^{-j(\varphi - jk\theta\zeta)}$ الخيال الوهمي في النقطة A_0'.

أما الحد الثالث : $\beta' a^2 b e^{j(\varphi - jk\theta\zeta)}$ فيمثل الخيال الحقيقي في النقطة A_0''.

ب- اظهاره بموجة $a.e^{-jk\theta\zeta}$ مستوية اشعتها متوازية وتميل بزاوية θ نفسها اثناء التسجيل على الهولوغرام :

في هذه الحالة تعطى سعة الموجة التي تعبر الهولوغرام عن طريق تابع العبورية للفلم : (٣-٣)..

$$a.e^{-jk\theta\zeta}t = a(t0 - \beta' b^2)e^{-jk\theta\zeta} - \beta' a^2 b e^{-j\varphi} - \beta' a^2 b e^{j(\varphi - 2jk\theta\zeta)}$$



الشكل (٣-٧)[7]

يدل الحد الاول : $a(t0 - \beta' b^2)e^{-jk\theta\zeta}$ على الحزمة المباشرة.

ويمثل الحد الثاني: $\beta' a^2 b e^{-j\varphi}$ الخيال الوهمي في النقط A_0' (المكان الاصلي لـA_0).

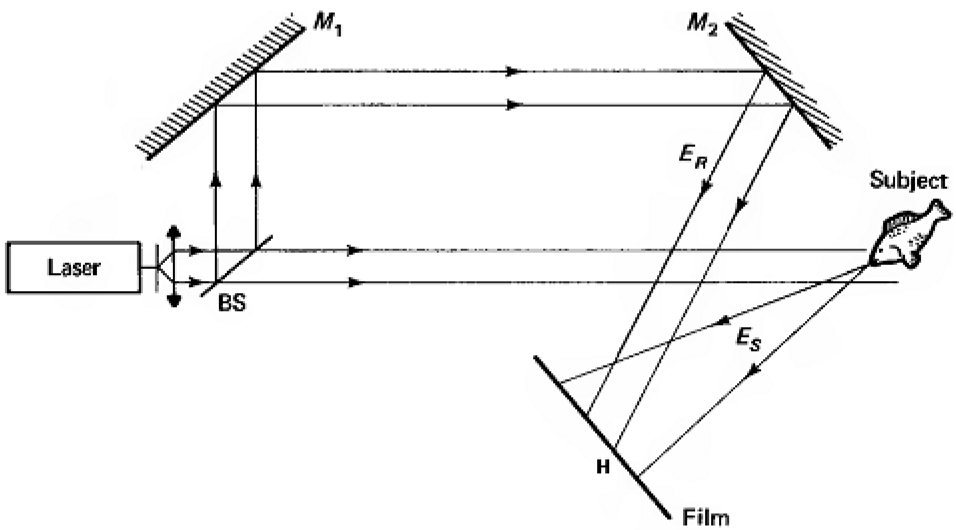
أما الحد الثالث : $\beta' a^2 b e^{j(\varphi - 2jk\theta\zeta)}$ فيمثل الخيال الحقيقي " A_0 ولكن يتواجد في

الاتجاه الذي يصنع زاوية مقدارها 2θ مع الناظم على الهولوغرام ،وبذلك يمكن أن نرى

الخيال الوهمي' A_0 دون أي إعاقة من الخيال الحقيقي " A_0.

٥.٣ هولوغرام جسم :[1][6]

انطلاقا من الحقيقة التي نعتبر فيها أن الجسم مكوَن من عدد كبير من النقاط المضيئة، يمكننا القول أن طريقة تسجيل هولوغرام لجسم ما، متطابقة مع طريقة تسجيل هولوغرام لنقطة، يظهر الشكل (٣-٨) طريقة تسجيل هولوغرام لجسم :



الشكل (٣-٨)[6]

تظهر الطريقة المتبعة لانشاء هولوغرام لجسم في الشكل السابق استخدام ضوء الليزر كمنبع وحيد اللون، حيث تقسم حزمة الضوء بمجزىء (صفيحة نصف شفافة) BS الى حزمتين احدها منعكسة إلى مراة M_1، ثم الى مراة أخرى M_2 التي تنعكس عنها الحزمة بشكل مباشر إلى الفلم الحساس H، وتسمى هذه الحزمة بالحزمة المرجعية E_R المسؤولة عن تسجيل البعد الثالث للجسم. أما الجزء الثاني النافذ من المجزىء فيصل مباشرة إلى الجسم المراد تصويره، فينعرج عن الجسم حاملاً معه معلومات الجسم على هيئة تغيرات في الطور والسعة أو الاثنين معا باتجاه الفلم الحساس H. وتسمى هذه الحزمة بحزمة المعلومات E_S. عندها تتداخل الحزمتان ويتكون شكل الاهداب الذي يكون معقدا جداً، الشيء الذي يتطلب لوح تصوير قادر

على تسجيل جميع الاهداب بشكل جيد، إن الهولوغرام الذي نحصل عليه بهذه الطريقة يعيد بناء كل نقاط الجسم أي الجسم نفسه.

يحدث بين الامواج المنعرجة عن الجسم فرق في المسير : $\Delta = \xi \sin\theta = \xi\theta$ حيث

تكون الزاوية θ صغيرة بالتالي : $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{x}{D} = \frac{2\pi}{\lambda}(\frac{x\xi + y\eta}{D})$

عندئذٍ تعطى معادلة الموجة المنعرجة عن نقطة من الجسم بالعلاقة: $b.e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{x\xi+y\eta}{D})}$

بالنتيجة إن المعلومات المسجلة على الهولوغرام هي مجموع هذه الامواج المنعرجة عن جميع نقاط الجسم :

$$\sum_S = \sum b.e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{x\xi+y\eta}{D})}$$

أما معالة الموجة المرجعية فهي : $\sum_R = a$

يحدث التداخل بين الموجة المرجعية والأمواج المنعرجة ويكون مجموع هذه الامواج جميعاً :

$$\sum = a + \sum be^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{x\xi+y\eta}{D})}$$

يمكن التعبير عن مجموع الامواج المنعرجة عن الجسم بتكامل العلاقة السابقة على كامل سطح الجسم، أي : $\sum = a + \int be^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{x\xi+y\eta}{D})} dxdy$

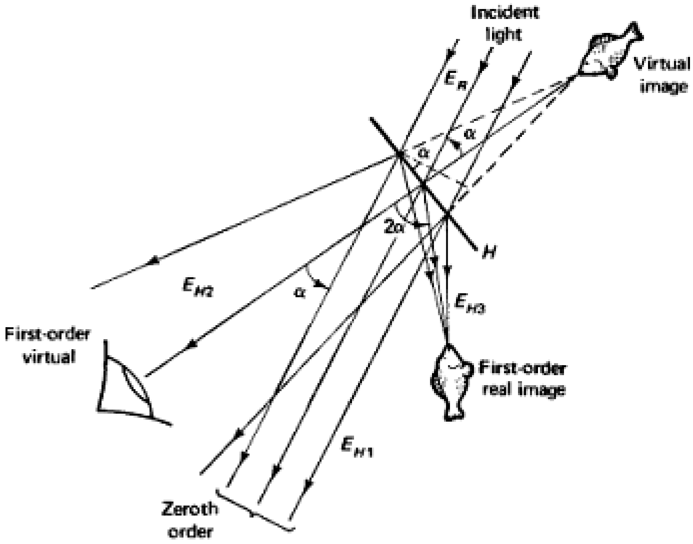
هذا التكامل ما هو الا تحويل فوربيه للموجة المنعرجة عن الجسم اذا : $\sum = a + F$

بالتالي : $I = \sum.\sum^* = (a+F)(a+F^*) = a^2 + F^2 + aF + aF^*$

إن تابع العبورية للفلم هو:

$$at = a(t_0 - \beta' F^2) - \beta' a^2 F - \beta' a^2 F^* \quad ....(٣-٤)$$

ولاظهار الفلم نسلط عليه حزمة ضوئية بنفس زاوية ورود الحزمة المرجعية فنحصل على صورتين مجسمتين أمام وخلف الهولوغرام كما يظهر في الشكل (٣-٩)، وتماما كما مر معنا في رؤية هولوغرام نقطة.

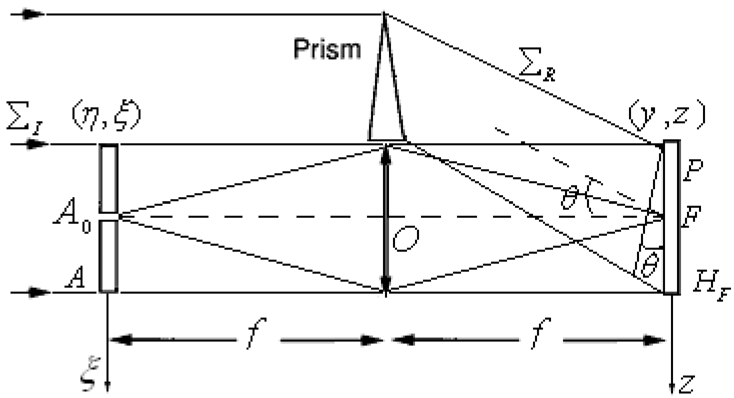


الشكل (٣-٩)[6]

٦.٣ هولوغرام فورييه :

١- تسجيل هولوغرام لنقطة : [1] [5]

يبين الشكل (٣-١٠)، عملية بناء هولوغرام فورييه. حيث تسقط الحزمة $\sum_I$ على المستوي A وتعبر الفتحة A_0 ، التي تمثل النقطة المضيئة التي سننشأ لها الهولوغرام. أما الحزمة المرجعية $\sum_R$ ، نحصل عليه عن طريق اسقاط حزمة ضوئية على موشور بحيث تبرز الحزمة منه لتسقط على الفلم بزاوية θ ويحدث التداخل بين الحزمتين.



الشكل (٣-١٠)[1]

تعطي الموجة التي تنعرج عن A_0 بعد عبورها العدسة موجة مستوية سعتها : b

وتكون سعة الحزمة المباشرة أو المرجعية : $a.e^{-jk\theta z}$

بالتالي تكون السعة الكلية التي تصل الى الهولوغرام هي : $a.e^{-jk\theta z}+b$

وعليه تكون الشدة : $I=a^2+b^2+ab.e^{-jk\theta z}+ab.e^{jk\theta z}$

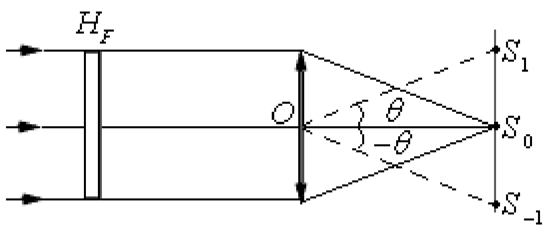
$$I=a^2+b^2+2ab\cos k\theta z$$

أما سعة الموجة التي تعبر الهولوغرام فتعطى عن طريق تابع العبورية على النحو التالي :

$$t=(t_0-\beta' b^2)-\beta' ab.e^{-jk\theta z}-\beta' ab.e^{jk\theta z} \quad ......(٣-٥)$$

٢- اعادة تشكيل الخيال :[1] [5]

لاظهار الهولوغرام المنشأ بالطريقة السابقة، نقوم باجراء الترتيبات الموضحة بالشكل (٣-١١)



الشكل (٣-١١)[1]

يضاء الهولوغرام بحزمة متوازية عمودية عليه، وتشاهد الصور في المستوي المحرقي للعدسة O الموضوعة خلف الهولوغرام H_F.

استناداً الى العلاقة (٣-٥) يعيد الهولوغرام بناء كل من الامواج التالية :

- موجة مستوية تعبره مباشرة $t_0-\beta' b^2$.

- موجتان مستويتان منعرجتان $ab.e^{jk\theta z}$, $ab.e^{-jk\theta z}$ بالاتجاهين $\pm\theta$.

لذلك تُشاهد ثلاث صور للنقطة المضيئة هي : S_{-1},S_{+1},S_0.

تجدر الاشارة الى أنه لا تختلف دراسة هولوغرام فورييه من أجل جسم دراسته عن دراسة هولوغرام نقطة على اعتبار أن الجسم مؤلف من مجموعة من النقاط، كما درسنا ذلك سابقاً.

٣.٧ الهولوغرام المتولد حاسوبيا : Computer Generated Holograms

٣.٧.١ تعريف الهولوغرام باستخدام الحاسوب :[1] [5]

يمكن تسجيل الهولوغرام بالاعتماد على الحاسوب، انطلاقا من أن الهولوغرام يحتوي تغيرات في الاسوداد على سطحه. ويمكن خلق هذه التغيرات صناعيا لأي جسم، إذا عرفنا إحداثيات جميع نقاطه وشدة الإضاءة الساقطة على مختلف هذه النقاط، و في هذه الحالة لا نحتاج لوجود الجسم بشكل حقيقي، ويسمى هذا النوع من الهولوغرام بالهولوغرام التركيبي. و الهولوغرام الناتج يعطي صورة ثلاثية الأبعاد للجسم المختار.

وتتطلب صناعة الهولوغرام التركيبي القيام بالإجراءات التالية :

١- حساب السعة العقدية التي تصدر عن الجسم والتي سوف تصل إلى مستوي الهولوغرام، الواقع على بعد معلوم من الجسم وذلك باستخدام الحاسوب. ويمثل ذلك الموجة الحاملة للمعلومات.

٢- الترميز الذي من خلاله يتم تحويل السعة العقدية المحسوبة إلى تابع حقيقي وموجب ،حيث يضيف الحاسوب إلى السعة العقدية التي تصدر من الجسم سعة عقدية ما، تمثل الحزمة المباشرة أو الحزمة المرجعية الساقطة على لوح التصوير و بالتالي تكون الشدة الناتجة في هذه الحالة تابع حقيقي موجب.

٣- رسم شكل توزع قيم هذا التابع باستخدام راسم أشعة مهبطي أو شاشة الكمبيوتر.

٤- تصوير الشكل الناتج، عندها يكون الفلم بعد التحميض والإظهار بمثابة الهولوغرام المطلوب. يجب أن يمتلك الفلم المستخدم بنية دقيقة حتى يستطيع أن يعرج الضوء بشكل جيد و لذلك يتم تصوير الشكل الناتج بعامل تكبير أصغر من الواحد بكثير.

٣.٧.٢ طرق الترميز المتبعة :

٣.٧.٢.١ الهولوغرام الثنائي (نموذج فورييه):[1] [5]

يتم إنتاج هولوغرام تركيبي ثنائي (نموذج فورييه) باستخدام الحاسوب، فمن أجل انشاءه لا نحتاج الا الى المبادىء الاساسية للتداخل والانعراج. فلبناء الهولوغرام العادي مخبريا نحتاج الى موجة مباشرة لتسجيل كل من السعة والطور، التي تمثل معلومات الجسم. وذلك بعد أن تتداخل مع الموجة التي تنعرج عن الجسم، وبالتالي تسجل هذه المعلومات على الفلم

الحساس.التي يمكن مشاهدتها على الهولوغرام بعد التحميض والاظهار، على شكل فتحات لها مواضع وأبعاد محددة على لوح الهولوغرام العاتم. حيث يمكن اعتبار السعة في منطقة محددة من الهولوغرام متناسبة مع أبعاد الفتحة الموجودة في تلك المنطقة، أما الطور فيحدد بموضع تلك الفتحة ضمن تلك المنطقة نفسها. اذن كل منطقة محددة من الهولوغرام، والتي تعتبر بمثابة وحدة أساسية يتكون منها الهولوغرام (لها شكل مربع) تحمل معلومات عن السعة والطور معاً.

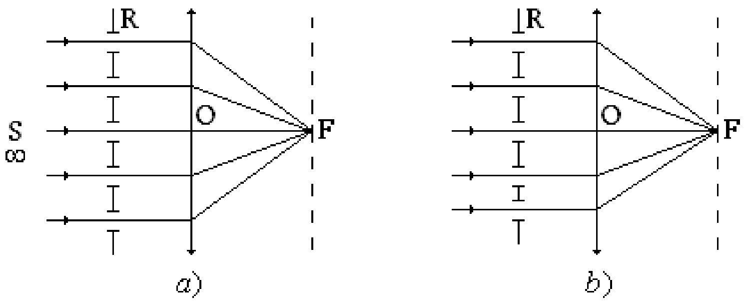
استنادا الى ما سبق يمكن الان أن نعرف المبدأ الاساسي المستخدم في تسجيل كل من تغيرات السعة والطور، وهذا ما نحتاج اليه عند بناء الهولوغرام التركيبي الثنائي :

١- تسجيل تغيرات السعة :

إن الفتحات التي يحتوي عليها لوح الهولوغرام تكون مختلفة عن بعضها البعض بالابعاد، وهذا الاختلاف نتيجة طبيعية. فكل منطقة من الهولوغرام تصلها سعة مختلفة نتيجة التداخل الحاصل بين الموجتين، وهذا ما يستخدم في التصوير الفوتوغرافي حيث يحتوي الفلم على تغيرات السعة فقط.

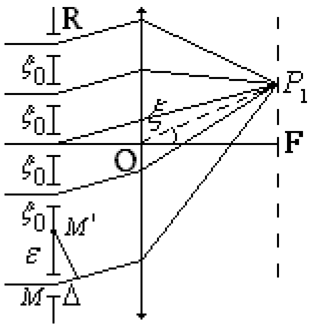
٢- تسجيل تغيرات الطور:

هذا ما يمتاز به التصوير الهولوغرافي عن التصوير الفوتوغرافي. حيث يحتوي على معلومات الطور بالاضافة الى معلومات السعة، حيث تسجل معلومات الطورعلى الهولوغرام بحسب موقع الفتحة ضمن كل منطقة صغيرة. بالتالي وبناءاً على ماتقدم يمكننا اعتبار الهولوغرام شبكة انعراج، تكون فيه الثقوب مختلفة في الأبعاد والبعد بين كل ثقبين متغير وغير ثابت. وعلى هذا الافتراض يمكننا تفسير احتواء الهولوغرام على تغيرات السعة والطور، فلو كان لدينا شبكة انعراج مكونة من ثقوب متساوية البعد عن بعضها، واضيئت بمنبع نقطي S واقع في اللانهاية، فسوف تصل جميع الامواج في الطور نفسه الى الصورة المباشرة المتكونة في محرق العدسة F الواقعة أمام الشبكة، الشكل (٣-١٢)/(a). ولا



الشكل (٣-١٢)[1]

يتغير أي شيء من هذه الظاهرة اذا لم تكن الشبكة مؤلفة من ثقوب متساوية البعد، وتصل



الشكل (٣-١٣)[1]

جميع الاشعة الى F بنفس الطور الشكل (٣-١٢)/(b).

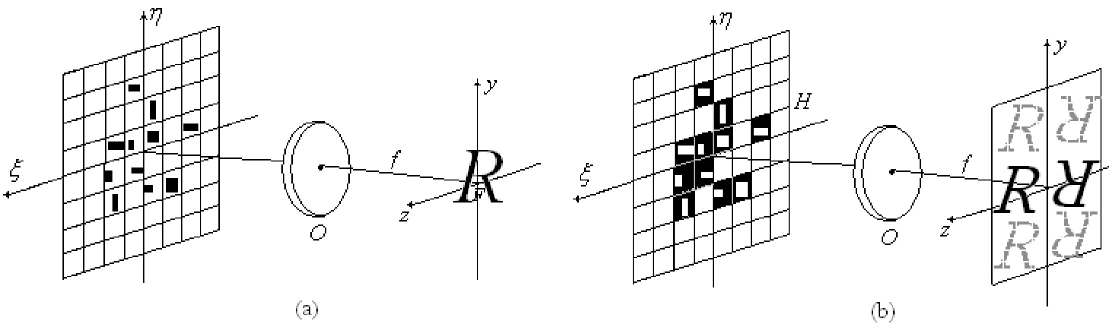
أما اذا كنا نراقب في جوار أحد أطياف الشبكة، فان الظاهرة لا تبقى صحيحة. مثلا في جوار الطيف من المرتبة الاولى P_1 يكون لدينا في الاتجاه υ الموافق للطيف من المرتبة الاولى : $\upsilon\xi_0 = \lambda$

على افتراض ξ_0 البعد بين ثقبين متتاليين من الشبكة

فاذا كانت M تمثل موقع ثقب منزاح بمقدار ε عن الوضع الدوري في الشبكة 'M، فان الشعاع الصادر من M والواصل الى النقطة P_1 يتأخر في المسير عن بقية الاشعة بالمقدار

$$\Delta = \upsilon\varepsilon = \varepsilon\frac{\lambda}{\xi_0} \quad \text{..............(٣-٦)}$$

إن الشعاع المار من أي ثقب منزاح عن موضعه النظري بالمقدار ε يصل الى المستوي المحرقي للعدسة O متأخراً في الطور بالمقدار $\varphi = 2\pi\frac{\varepsilon}{\xi_0}$، وهذا ما نعتمد عليه فعليا عند انشاء الهولوغرام لتسجيل تغيرات الطور .



الشكل (٣-١٤) [رسم خاص]

فعلى فرض أن الجسم يتكون من حرف R كما في الشكل (٣-١٤)/(a) فإن انشاء الهولوغرام وتسجيل تغيرات الطور يتطلب ما يلي :

١- تقسيم الجسم الى عدد كبير من النقاط المتقاربة وفق خطوط مستوية، بحيث تعطي للعين احساسا بالاستمرار وعدم الانقطاع.

٢- حساب تحويل فورييه باستخدام الحاسوب لجميع نقاط الجسم في المستوي (η,ξ)، الذي يكون مقسما ايضا على شكل مربعات صغيرة (المناطق سابقا)عددها يساوي عدد النقاط المعتبرة في الجسم، والتي حسب تحويل فورييه لها.

٣- الحصول في كل مربع من المربعات التي يتكون منها المستوي (η,ξ) على مستطيل أسود صغير على قاع أبيض.

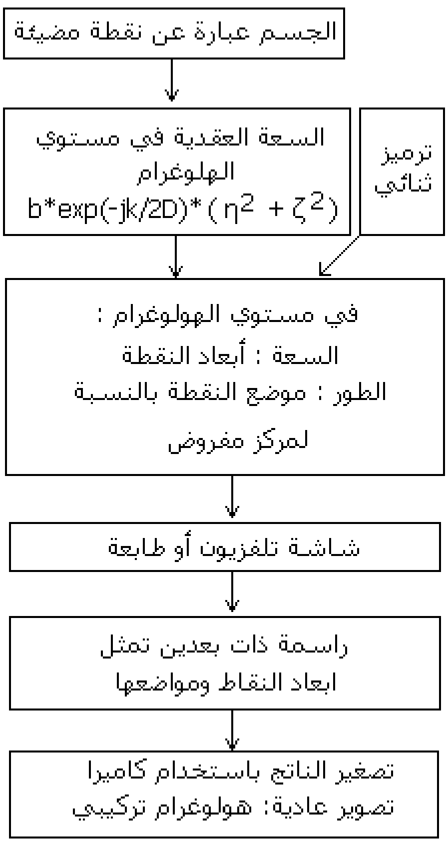
٤- رسم المستطيلات الصغيرة على ورقة باستخدام طابعة أو طاولة رسم موصولة بالحاسوب.

٥- أخذ صورة للشكل الناتج باستخدام الة تصوير بعامل تكبير أصغر من الواحد بكثير .

٦- أخذ الفلم السلبي للصورة الحاصلة بهذه الطريقة يمكن الحصول على الهولوغرام الثنائي، الذي يتألف من فتحات مضيئة مستطيلة على قاع اسود، حيث تمثل أبعاد هذه المستطيلات معلومات السعة، أما موضعها داخل المربع فتمثل معلومات الطور وذلك لان أي انزياح لهذه المستطيلات داخل المربع يؤدي الى تغير الطور. بالتالي نحصل على توزع لشدة الإضاءة أو الاسوداد على الهولوغرام التركيبي لا يشبه ما نحصل عليه تجريبيا، ولكنه يعطي عمليا الانعراج نفسه.

يمكن مشاهدة صورة للجسم اذا اضيء الهولوغرام الناتج بحزمة متوازية باتجاه الطيف من المرتبة الاولى $\upsilon = \lambda / \xi_0$ ، الذي يوافق توزع دوري للفتحات دوره ξ_0. ولكن مع ملاحظة تشكل صور أخرى تخص الطيف من مراتب أعلى كما في الشكل (٣-١٤)/(b).

في الشكل (٣-١٥) المخطط التتابعي للمراحل الواجب إتباعها للعمل على الحاسوب على افتراض أن الجسم نقطة مضيئة واحدة :



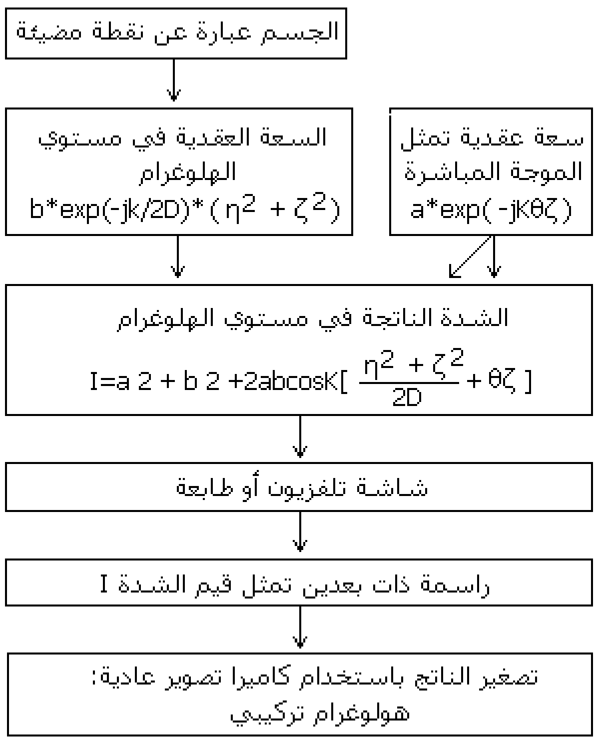
الشكل (٣-١٥)[1]

٢.٢.٧.٣ الهولوغرام التركيبي متعدد السويات kinoforms: [1] [5]

يتم إنتاج الهولوغرام التركيبي متعدد سويات الشدة باستخدام الحاسوب، بإضافة سعة عقدية تمثل الموجة الواردة مباشرة لتشكيل عمق للصورة أو البعد الثالث، وبعدها يحسب الحاسوب محصلة هاتين الموجتين، ويمكن رسمها على طاولة رسم مرتبطة بالحاسوب أو على شاشة تلفزيون خاصة. أن توزع الأسود والأبيض على الرسم الناتج، يقترب كثيرا من توزع الإضاءة على الهولوغرام الحقيقي.

من الضروري الإشارة إلى أنه في جميع الهولوغرامات نحصل على صورتين للجسم، واحدة حقيقة والأخرى وهمية، أما في هذا النوع نحصل على صورة حقيقية واحدة وهذا ما أعطاه أهمية خاصة.

وفيما يلي مخطط تتابعي يبين المراحل الواجب إتباعها للعمل على الحاسوب على افتراض أن الجسم نقطة مضيئة واحدة:

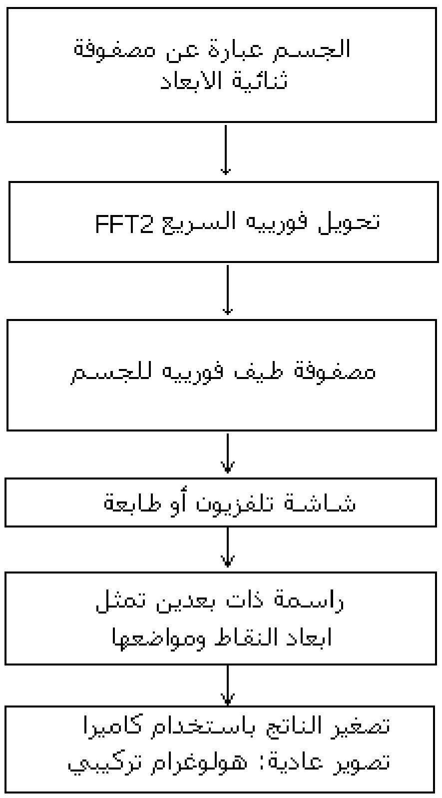


الشكل (٣-١٦)[1]

٣.٢.٧.٣ الهولوغرام التركيبي Gray scale:[7]

يتم إنتاج الهولوغرام التركيبي الثنائي بهذه الطريقة حاسوبياً على اعتبار أن الصورة الممثلة للجسم عبارة عن مصفوفة ثنائية الأبعاد، وتتدرج فيها الألوان من القيمة (٠) إلى القيمة (٢٥٥). أي أن الصورة ذات تدرج رمادي (التدرج من اللون الأبيض إلى اللون الأسود)، بحيث يكافئ كل عنصر من عناصر هذه المصفوفة جزء من الصورة و يعادل Pixel بكسل واحد فقط. نقوم بعد ذلك بحساب تحويل فورييه الثنائي لكل عنصر من عناصر هذه المصفوفة باستخدام خوارزميات تحويل فورييه السريع، عندها يكون ناتج عملية التحويل مصفوفة أخرى لها نفس الأبعاد ولكنها تحتوي على شكل الأهداب الانعراج في مستوي الهولوغرام. وبذلك نكون قد حصلنا على الهولوغرام التركيبي ثنائي الأبعاد.

وفيما يلي مخطط تتابعي يبين المراحل الواجب إتباعها للعمل على الحاسوب والذي تم الاعتماد عليه في إنتاج الهولوغرام التركيبي الثنائي ضمن خطة البحث.



الشكل (٣-١٧)

الفصل الرابع

الهولوغرافيا الرقمية ومعالجة المعلومات

Digital Holography & Information Processing

الهولوغرافية الرقمية ومعالجة المعلومات

Digital Holography & Information Processing

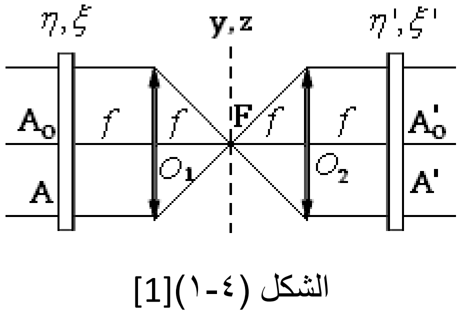
٤.١ مقدمة :

تستخدم المرشحات الهولوغرافية الصناعية والرقمية على نحو أساسي في المعالجة الضوئية للمعلومات، حيث يعتمد في ذلك اعتمادا مباشرا على إنتاج الهولوغرام واستخدامه كمرشح، لقد أدى ذلك إلى تطور وتقدم العديد من الصناعات التي تعتمد على المعالجة الضوئية للمعلومات. في هذا الفصل سنقدم الكيفية التي تسمح بالاستفادة من استخدام الهولوغرام كمرشح، في تمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي وإمكانية كشف الفرق بين شكلين متشابهين.

٤.٢ تمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي : [5][1]

تعتبر هذه التقنية مفيدة جدا في مجال المعالجة الضوئية للصور ومن الضروري فهم الآلية التي تقوم عليها هذه الطريقة، على سبيل المثال يمكن تمييز إشارة محددة من عدد من الإشارات، أو تحديد الإشارة المشابهة لها واكتشاف الفرق فيما بينهما، حيث يمكن تطبيق ذلك في تحديد التشابه بين شكلين أحدهما أصيل والأخر مزور أو مقلد مشابه للأصيل بدرجة عالية. سندرس أمكانية البحث عن حرف معين أو كلمة ما ضمن نص يحتوي على ذلك الحرف أو الكلمة، يبين الشكل (٤-١) الترتيب التجريبي المستخدم لتحقيق هذا الغرض.

حيث يكون المستوي (η,ξ) هو المستوي المحرقي الجسمي للعدسة O_1، أما العدسة الأخرى O_2 فتوضع بحيث ينطبق المستوي المحرقي الجسمي لها على المستوي المحرقي



الشكل (٤-١)[1]

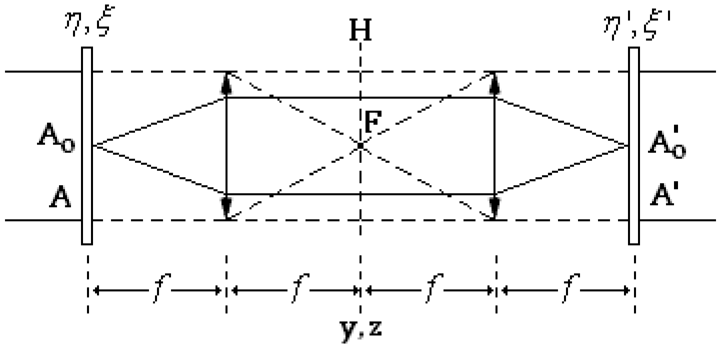
الخيالي للعدسة الأولى وهو المستوي $(y\ ,z\ )$، لهذا يكون خيال أي جسم موضوع في المستوي (η,ξ) واقعاً في المستوي المحرقي الخيالي للعدسة O_2 أي في المستوي (η',ξ').

الآن نأتي إلى الخطوات الواجب إتباعها للقيام بعملية التمييز.

أولا : يُصنع هولوغرام للحرف أو الكلمة التي نبحث عنها ضمن النص، و يوضع الهولوغرام في F (المستوي (y,z)).

ثانيا : يُطبع النص على صفيحة أو فلم حساس، على شرط أن تكون الحروف شفافة على قاع أسود، وتوضع هذه الصورة مكان الجسمA، أي في المستوي المحرقي الجسمي للعدسة O_1، بالتالي فان تحويل فورييه (طيف الجسم الموضوع في A) له يقع في المستوي المحرقي الخيالي أي في المستوي (y,z).

ثالثا : تشاهد عملية التمييز في المستوي الخيالي 'A.



الشكل (٤-٢)[1]

إن ما نشاهده في المستوي الخيالي يحدد أمكان تواجد الحرف أو الكلمة التي نبحث عنها، وهذا ينطبق أيضا على جميع الأشكال الأخرى. وللاستفادة من هذه المشاهدة، يجب التعرف على آلية التمييز بشكل مفصل. فمثلا لو أردنا تمييز الحرف S ضمن نص يحتوي على هذا الحرف فعلينا أولا صنع هولوغرام فورييه للحرف S، وذلك بأخذ صورة للحرف على فلم حساس بحيث يكون الحرف شفاف على قاع اسود، ونطبق ما ذكرناه في الفصل السابق عن صنع هولوغرام فورييه، على اعتبار أن الفلم الذي يحمل صورة الحرف بمثابة الجسم المراد تصويره، بعد الحصول على الهولوغرام يوضع في المستوي المار من F الشكل (٤-٢) بينما نضع النص الحاوي على هذا الحرف في المستوي المار من A.

الآن سنتعرف على آلية التمييز في المستوي الخيالي 'A من أجل عدة حالات ممكنة :

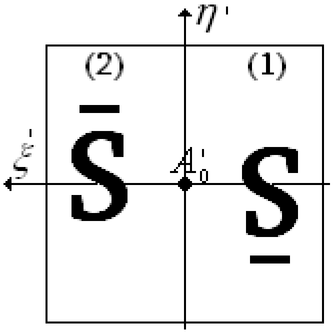
الحالة الأولى : النص مؤلف من الحرف S فقط :

من المعروف من الفصل السابق أنه عندما يضاء الهولوغرام (هولوغرام فورييه) بحزمة

متوازية لها اتجاه الحزمة التي تم استخدامها لتسجيل البعد الثالث، فإن سعة الموجة تعطى بالعلاقة :

$$t = t_0 - \beta'[|f|^2 + a e^{jk\theta z} f + a e^{-jk\theta z} f^*] \quad ...(٤-١)$$

بالتالي سنشاهد في المستوي (η', ξ') :



الشكل (٤-٣)[رسم خاص]

١)- بقعة مركزية مضيئة في A'_o.

٢)- صورة أولى للحرف S توافق الموجة $a e^{jk\theta z} f$.

٣)- صورة ثانية للحرف S توافق الموجة * $a e^{-jk\theta z} f$.

ووجدنا أيضا أنه عند إضاءة الجسم الموضوع في المستوي (η, ξ)، فإن ما نشاهده في المستوي المحرقي الجسمي للعدسة O_1 أي في المستوي (y, z)، يتطابق مع تحويل فورييه له، أي أننا عندما نضيء النص الموضوع في المستوي (η, ξ)، يقع طيف فورييه له $f(Y, Z)$ على الهولوغرام الموضوع في المستوي (y, z)، بالتالي تكون سعة الموجة التي تعبر الهولوغرام هي ناتج ضرب $f(Y, Z)$ بـ t، وعليه تكون شدة الموجة في مستوي المراقبة (η', ξ') في الاتجاه $(-\theta)$ الموافقة للحد الثالث من العلاقة (٤-١):

$$f(Y, Z) f^*(Y, Z) = |f(Y, Z)^2| \quad .....(٤-٣)$$

فإذا كانت الموجة متجانسة ، فإننا سنحصل في مستوي المراقبة على نقطة مضيئة لان $|f(Y, Z)^2|$ حقيقي ولا وجود لتغيرات في الطور، وهذه الحالة تعبر عن الحالة المثالية ، أما في الغالب تكون الموجة غير متجانسة، وعوضا عن مشاهدة نقطة مضيئة وحيدة نشاهد هالة تحيط بهذه النقطة ذات إضاءة ضعيفة.

تجدر الإشارة هنا إلى أنه عندما نسحب الحرف S في مستويه، فإن تحويل فورييه له $f(Y, Z)$ يضرب بحد من الشكل $e^{jk(u\eta_1 + \vartheta\xi_1)}$ ، حيث η_1, ξ_1 هي إحداثيات المبدأ

الجديدة بالنسبة إلى الإحداثيات القديمة، ومنه تصبح عبارة شدة الموجة التي تعبر الهولوغرام في الاتجاه $(-\theta)$:

$$a.e^{-jk\theta z}e^{jk(u\eta_1+\vartheta\xi_1)}ff^*$$

حيث تبقى الموجة مستوية وتظهر نقطة مضيئة مع تغير في موضعها إشارة إلى الوضع الجديد للحرف S، أي أن النقطة تنسحب بنفس المقدار الذي انسحب به الحرف الموضوع في النص.

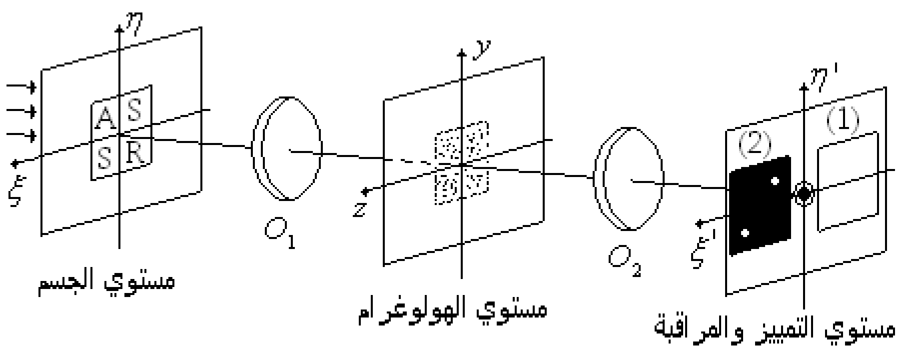
الحالة الثانية : النص مؤلف من حرف واحد مختلف عن الحرف S :

في هذه الحالة يدخل تابع جديد $g^*(Y,Z)$ يختلف عن $f^*(Y,Z)$، ونتيجة ذلك لا يكون $f(Y,Z)g^*(Y,Z)$ حقيقي، ولا تكون الموجة المنعرجة في مستوي المراقبة مستوية، ونشاهد بقعة أكثر امتدادا من سابقتها وأقل إضاءة منها.

تتعلق شدة إضاءة البقعة بمدى الارتباط بين الحرف الذي نبحث عنه والنص الذي نبحث ضمنه، فكلما كان الارتباط كبيراً بينهما كانت الإضاءة كبيرة والعكس بالعكس. وهذا ما يشاهد أيضا عندما يكون الحرف الموجود في النص نفس الحرف الذي نبحث عنه، ولكن له اتجاه مختلف عن اتجاه الحرف الأصلي، أو له أبعاد تختلف عن أبعاد الحرف الأصلي.

الحالة الثالثة : النص مؤلف من الحرف S وحروف كثيرة مختلفة :

بناءا على الحالتين السابقتين معاً، أصبح بالإمكان معالجة مثل هذه الحالة، حيث أن الهولوغرام لن يستجيب إلا مع الحروف التي يوجد بينها وبين ما هو مسجل عليه ارتباط كبير، أي يسمح بمرور الحرف الموافق ولا يسمح بمرور الحرف المخالف، وهذا باختصار ما تقوم عليه تقنية المرشحات الهولوغرافية، حيث نشاهد في مستوي المراقبة نقاطا مضيئة على قاع أسود تشير إلى مواضع وجود الحرف الذي نبحث عنه ضمن النص.

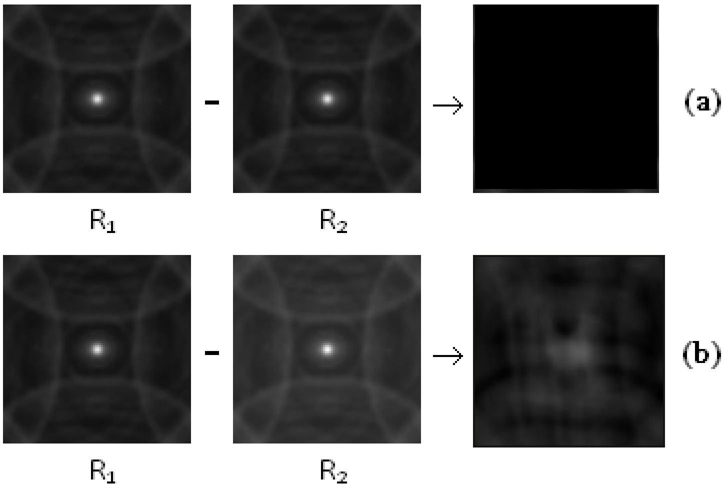


الشكل (٤-٤) [رسم خاص]

في جميع الحالات السابقة كنا نهتم بمراقبة الصورة التي تقع في الاتجاه $(-\theta)$، لان الموجة الموافقة تتجه في الاتجاه نفسه الذي تتجه وفقه الحزمة المباشرة، التي استخدمت إثناء إنتاج الهولوغرام، ولا نهتم بالصورة الأخرى، التي تقع في الاتجاه $(+\theta)$ لأنها لا تعطي إشارة مهمة بالنسبة لنا في هذه الحالة المدروسة، وخصوصا أن الصورة في الاتجاه $(+\theta)$ تكون مقلوبة.

٤.٣ كشف الفرق بين شكلين متشابهين :[5][1]

كثيرا ما نحتاج في حياتنا اليومية إلى اكتشاف الفرق بين شكلين أحداهما أصيل والأخر مزور عنه بدقة كبيرة، مثل أمكانية اكتشاف العملة المزورة أو الأختام والتواقيع المزورة، وخصوصا عندما تكون مزورة بدقة عالية يصعب اكتشافها. إن آلية اكتشاف الشكل الأصيل من المزور تعتمد اعتماداً كبيراً على طريقة تمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي، التي تحدثنا عنها في الفقرة السابقة، ولكن مع بعض التعديلات والإضافات. ذكرنا سابقا أن شدة إضاءة البقعة تتعلق بمدى الارتباط بين الحرف الذي نبحث عنه والنص الذي نبحث ضمنه، فكلما كان الارتباط كبيراً كانت الإضاءة كبيرة والعكس بالعكس، و تكون أعظم شدة لإضاءة البقعة في حالة التطابق التام، أي الحالة التي يحدث فيها الارتباط الذاتي. إن الصورة التي نحصل عليها من الارتباط الذاتي، سنستخدمها كمعيار لاكتشاف الشكل الأصيل من المزور (الصورة R_1)، فعلى فرض أننا أردنا التحقق من أصالة شكل معين، فإننا نقوم بإجراء ارتباط ذاتي للشكل الأصيل مع ذاته ونسمي الصورة الناتجة R_1، ونقوم أيضا بإجراء ارتباط بين الشكل المختبر والشكل الأصيل ونسمي الصورة الناتجة R_2. إن الصورتين R_1 و R_2 تكونان متطابقتين فقط، إذا كان الشكل الذي تم اختباره أصيلاً، أما إذا كان الشكل الذي تم اختباره مزوراً، عندها ستكون الصورة R_2 غير متطابقة مع R_1، مهما بدى لنا التشابه بينهما بالعين المجردة كبيراً. الآن للتميز بين الشكل الأصيل والشكل المزور، نقوم بطرح الصورتين R_1 وR_2، حيث نأخذ نسخة سالبة R'_2 لـ R_2، ومن ثم نطبق R'_2 على R_1، فنحصل بهذه الطريقة على الفرق R_1-R_2، فإذا كان ناتج الفرق عبارة عن صفيحة مظلمة بالكامل، عندها تكون كل نقطة من الصورة R_1 متطابقة مع كل نقطة من الصورة R_2، بالتالي يمكننا الحكم بأصالة هذا الشكل كما يظهر في الشكل (٤-٥)/(a)، أما إذا كان ناتج الفرق صفيحة مظلمة تحتوي على بعض النقاط البيضاء، فذلك دليل على عدم تطابق الصورتين R_1 و R_2، ويمكن الحكم عليها بأنها مزورة كما في الشكل (٤-٥)/(b).



الشكل (٤-٥)[محاكاة خاصة]

٤.٤ المرشحات الهولوغرافية الرقمية :[7]

إن أول التجارب في مجال المعالجة الضوئية للمعلومات هي تجربة آبي، التي استخدم فيها صفيحة بسيطة في عملية ترشيح التواترات المكانية، ولكن بعد ظهور الهولوغرافيا أصبح من الممكن إنتاج مرشحات معقدة جداً، و كان للحاسوب في هذا المجال أثر واضح من خلال المرشحات الهولوغرافية الرقمية حيث تتم جميع العمليات الحسابية بسرعة كبيرة ودقة عالية، مما أتاح لنا صناعة أي مرشح مهما كان معقداً. وقد تعرفنا في الفصل السابق على الهولوغرافيا الرقمية و آلية إنتاج الهولوغرام رقميا باستخدام الحاسوب، أما في هذا الفصل تحدثنا عن مدى الاستفادة من هذا الهولوغرام في مجال معالجة الصور باستخدام الحاسوب، كتمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي وإمكانية كشف الفرق بين شكلين متشابهين، إن المرشح المستخدم في هذه العملية عبارة عن هولوغرام رقمي للإشارة التي نرغب بتمييزها، أو نريد البحث عنها ضمن الصورة أو الجسم المدروس ، ويتحقق ذلك حسب نظرية الالتفاف بين الإشارة المرغوب كشفها وبين ذلك المرشح. كما و يمكن الاعتماد على طريقة مشابهة بعد القيام ببعض التعديلات التي سبق ذكرها، ليصبح بالإمكان اكتشاف الفرق بين شكلين متشابهين أحدهما أصيل والأخر مزور.

٤.٥ تمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي رقميا :[7]

يمكن تمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي رقمياً بإتباع الخطوات التالية :

أولا : نقوم بإنتاج الهولوغرام للشكل المراد البحث عنه ضمن شكل أخر، وذلك باستخدام خوارزمية تحويل فورييه، والحصول على الهولوغرام (هولوغرام تحويل فورييه) على شكل مصفوفة ثنائية البعد نسميها TFHمثلا.

ثانيا : أخذ طيف أو تحويل فورييه للشكل الذي نريد البحث ضمنه ، على شكل مصفوفة ثنائية البعد أيضا نسميها TFA (هولوغرام تحويل فورييه للشكل الذي نريد البحث ضمنه).

ثالثا : إجراء عملية الالتفاف، علما أنها تكافئ عملية الجداء هنا، لان الالتفاف في مجال الموضع للإشارة يكافئه جداء في مجال التواترات المكانية (نظرية بلانشيريل)، أي نجري عملية جداء بين المصفوفتين TFH و TFA ويكون ناتج الجداء هو مصفوفة ثالثة RA تمثل ناتج عملية التفاف. يجب التذكير هنا أن عملية الالتفاف هي نفس عملية الارتباط.

رابعا : نقوم بإجراء عملية تحويل عكسي، أي تطبيق خوارزمية تحويل فورييه العكسي على المصفوفة RA، للانتقال من مجال التواتر (الطيف) إلى مجال الموضع، وهذا يعني إظهار ناتج عملية الالتفاف في مجال الموضع. إن المصفوفة الناتجة عن عملية التحويل هذه، هي عبارة عن صورة تشاهد عليها البقع البيضاء المضيئة، الناتجة عن عملية الارتباط الذاتي وذلك في أماكن تواجد الشكل الأول ضمن الشكل الثاني.

٤.٦ كشف الفرق بين شكلين متشابهين رقميا :[7]

إن هذه الطريقة تعتمد على الخطوات الثلاث الأولى في الفقرة السابقة، على اعتبار أن الشكل الأول هو الشكل الأصلي، بينما الشكل الثاني هو الشكل المراد التحقق من أصالته، نقوم بطرح المصفوفة الناتجة عن عملية الالتفاف في الخطوة الثالثة من المصفوفة التي تنتج عن التفاف الشكل الأول بذاته أي مصفوفة الارتباط الذاتي. إذا كان ناتج عملية الطرح مصفوفة جميع عناصرها أصفارا (صورة سوداء بالكامل)، يكون الشكل الثاني أصيلا. أما إذا كانت تحتوي المصفوفة على عناصر مخالفة للصفر (صورة سوداء تحتوي بقع بيضاء)، يكون الشكل الثاني مزوراً.

الفصل الخامس

التجهيزات والبرمجيات والخوارزميات

Hardware , Software & Algorithm

التجهيزات والبرمجيات والخوارزميات

Hardware , Software & Algorithm

١.٥ التجهيزات :

يعتمد نظام المحاكاة الحاسوبية على قدرة الحاسوب على انجاز العمليات الحسابية بسرعة ودقة، ويتطلب العمل السريع مواصفات خاصة لجهاز الحاسوب، تتعلق بنوع المعالج وبطاقة الذاكرة وبطاقة العرض، وتم أنجز العمل على جهاز حاسوب يمتلك المواصفات التالية :

معالج (CPU): Intel® Pentium® 4 CPU 3.40GHz

بطاقة الذاكرة (RAM): 2GB/800

بطاقة العرض (VGA): 1GB / NVIDIA GeForce G100

ماسح ضوئي (Scanner) : HP Scanner

٢.٥ البرمجيات :

أنجز العمل وكتابة جميع الخوارزميات باستخدام برنامج MATLAB® إصدار R2007a ، وقمنا بكتابة ملحق خاص بطرق الترميز الخاصة بالبرنامج (الملحق B)، والتي استخدامت في كتابة الشيفرة المصدرية أو البرمجية للبحث (Sources Code).

أما بالنسبة إلى إنتاج الصور التي تمت معالجتها ضمن خطة البحث :

١- بعضها قمنا بإنتاجها باستخدام برنامج Microsoft Paint® .
٢- بعضها الأخر قمنا بسحبها باستخدام الماسح الضوئي، وخاصة الصور التي كان الهدف من دراستها تمييز الأجسام أو كشف التطابق فيما بينها (صور العملة الورقية وشعار جامعة دمشق بالإضافة إلى الصور الشخصية).
٣- صورة واحدة تم الحصول عليها من الموسوعة العلمية Britannica للعالم فورييه.

٣.٥ الخوارزميات :

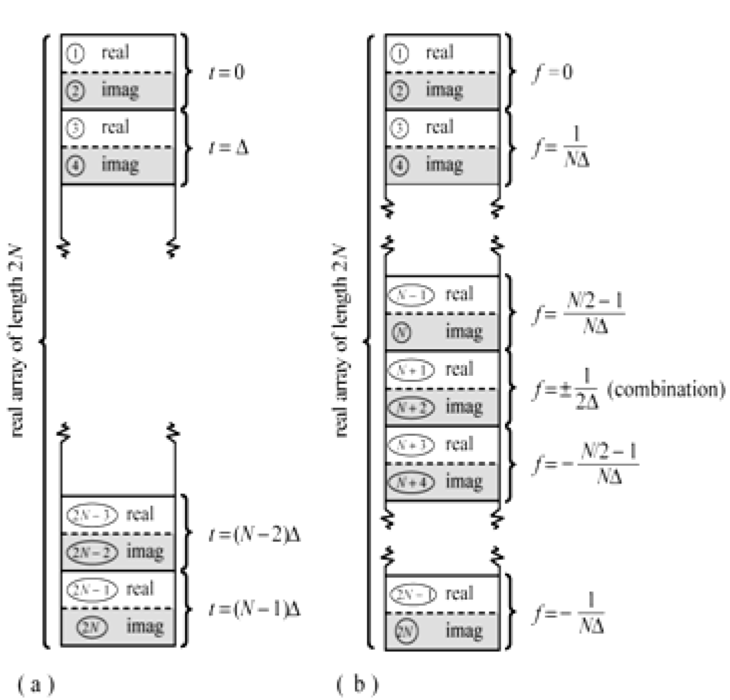
استنادا إلى الدراسة النظرية للبحث، فإننا سنعتمد اعتمادا مباشرا على خوارزميات حساب تحويل فورييه، وهناك عدة طرق لحسابه ولكن الطريقة المتبعة والتي تعد من أدق الطرق العددية والحسابية ، بالإضافة إلى سرعتها الكبيرة في الحساب هي طريقة تحويل فورييه السريع

Fast Fourier Transform التي يرمز لها عادة في جميع المراجع العلمية بـ FFT.

١.٣.٥ خوارزمية تحويل فورييه السريع FFT : [3]

هناك طرق عديدة لحساب تحويل فورييه المتقطع (DFT) ، كطريقة الحل المشترك لمجموعة من المعادلات أو طريقة الترابط، ولكن تعتبر طريقة تحويل فوريه السريع (FFT) طريقة أخرى من طرق حساب (DFT)، وبالرغم من أنها تعطي نفس النتائج التي تعطيها الطرق الأخرى، إلا أنها أكثر فعالية حيث أنها تنقص زمن الحساب مئات المرات.

إن طريقة (FFT) مبنية على (DFT) العقدي، وهو نسخة أكثر تطوراً وتعقيداً من (DFT) الحقيقي. أخذت هذه التحويلات تسميتها من الطريقة المستخدمة لتمثيل المعلومات، والتي إما أن تكون أعداداً عقدية أو أعداداً حقيقية. يمثل الشكل كلا من مصفوفتي الدخل والخرج لتحويل فورييه السريع.



الشكل (٥-١)[3]

حيث يمثل الشكل (a) مصفوفة الدخل التي طولها (2N) مؤلفة من N عينة عقدية، أما الشكل (b) فهو مصفوفة الخرج التي تحوي طيف فورييه العقدي عند N عينة للتردد.

يبين الملحق A مبدأ عمل خوارزمية تحويل فورييه السريع بشكل أكثر تفصيلاً.

الفصل السادس

المحاكاة الحاسوبية لمنظومة ضوئية

Computer Simulation for Optical System

المحاكاة الحاسوبية لمنظومة ضوئية

Computer Simulation for Optical System

٦.١ المحاكاة الحاسوبية :

قمت بإجراء العديد من عمليات المحاكاة لحالات متنوعة، حاولت فيها جاهدا أن يتضمن البحث أكثر الحالات شمولية. ترتكز جميع العمليات التي أنجزتها إلى ثلاث محاور أساسية مترابطة. و يعتمد كل منها على الأخر وهي :

١- إنتاج الهولوغرام التركيبي الثنائي رقمياً.
٢- محاكاة الالتفاف والارتباط بالاعتماد على المعالجة الرقمية.
٣- استخدام الهولوغرام المنتج رقميا كمرشح هولوغرافي لتمييز الأجسام المتشابهة والتعرف عليها.
٤- علاوة على ذلك أنجزت محاكاة شبيهة نستخدم فيها الهولوغرام كمرشح، حيث يمكن من خلالها كشف مدى تطابق الأجسام، وكشف أي منها أصيل وأي منها مزور و مشابه للأصيل بدرجة عالية.

٦.١.١ إنتاج الهولوغرام رقميا (CGH):

قمت بكتابة الشيفرة البرمجية الخاصة لإنتاج الهولوغرام التركيبي الثنائي البعد وفق نموذج فورييه باستخدام برنامج MATLAB. أما بالنسبة إلى العينات المدروسة والتي هي عبارة عن صور رقمية ثنائية الأبعاد، فهي تمثل أكثر الحالات النموذجية التي يتم دراستها والاهتمام بها في هذا المجال وعددها ستة عينات. بالإضافة إلى عينات أخرى قمت بالاستفادة منها في الأجزاء الأخرى من البحث، أما بالنسبة إلى مصدر هذه العينات، فإن بعضها تم إنتاجه باستخدام برنامج Paint، والبعض الأخر تم سحبه باستخدام الماسح الضوئي وهي عبارة عن صور رقمية نقطية معروفة باللاحقة (bmp) حيث يحتوي السطر الخامس في الشيفرة المكتوبة على اسم الصور (اسم الصورة هنا c.bmp) التي نرغب بإنتاج الهولوغرام لها على شرط أن توضع بشكل مجاور لملف برنامج MATLAB (اسم ملف الـ Matlab هو fft2Dbitmap_image.m) وستحفظ نتيجة العمل بشكل تلقائي أيضا كصورة رقمية نقطية بنفس أبعاد الصور المعالجة وبنفس المكان تحت اسم موجود في السطر الأخير من الشيفرة

البرمجية (في الشيفرة المكتوبة الاسم هو holo4c.bmp) وبالتأكيد كل من اسم الصورة المعالجة واسم النتيجة الموافقة تتغير حسب العينة المدروسة.

الشيفرة البرمجية لإنتاج الهولوغرام رقميا :

```
----------------------------------------------------------

%This code is written by Ali Al-alian
%fft2Dbitmap_image.m
%Simulation of Fourier transformation of bitmap images
clear
I=imread('c.bmp','bmp'); %Input bitmap image
I=I(:,:,1);
figure(1) %displaying input
colormap(gray(255));
image(I)
axis off
FI=fft2(I);
FI=fftshift(FI);
max1=max(FI);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
FI=FI.*scale;
figure(2) %Gray scale image of the absolute value of
transform
colormap(gray(255));
image(10*(abs(256*FI)));
axis off
imwrite(abs(12.*FI),'holo4c.bmp','bmp');
----------------------------------------------------------
```

العينات التي تمت دراستها هي :

العينات الأساسية : ثقب دائري ، شق طولي ، شق عرضي ، مستطيل ، مثلث ، نقطة واحدة.

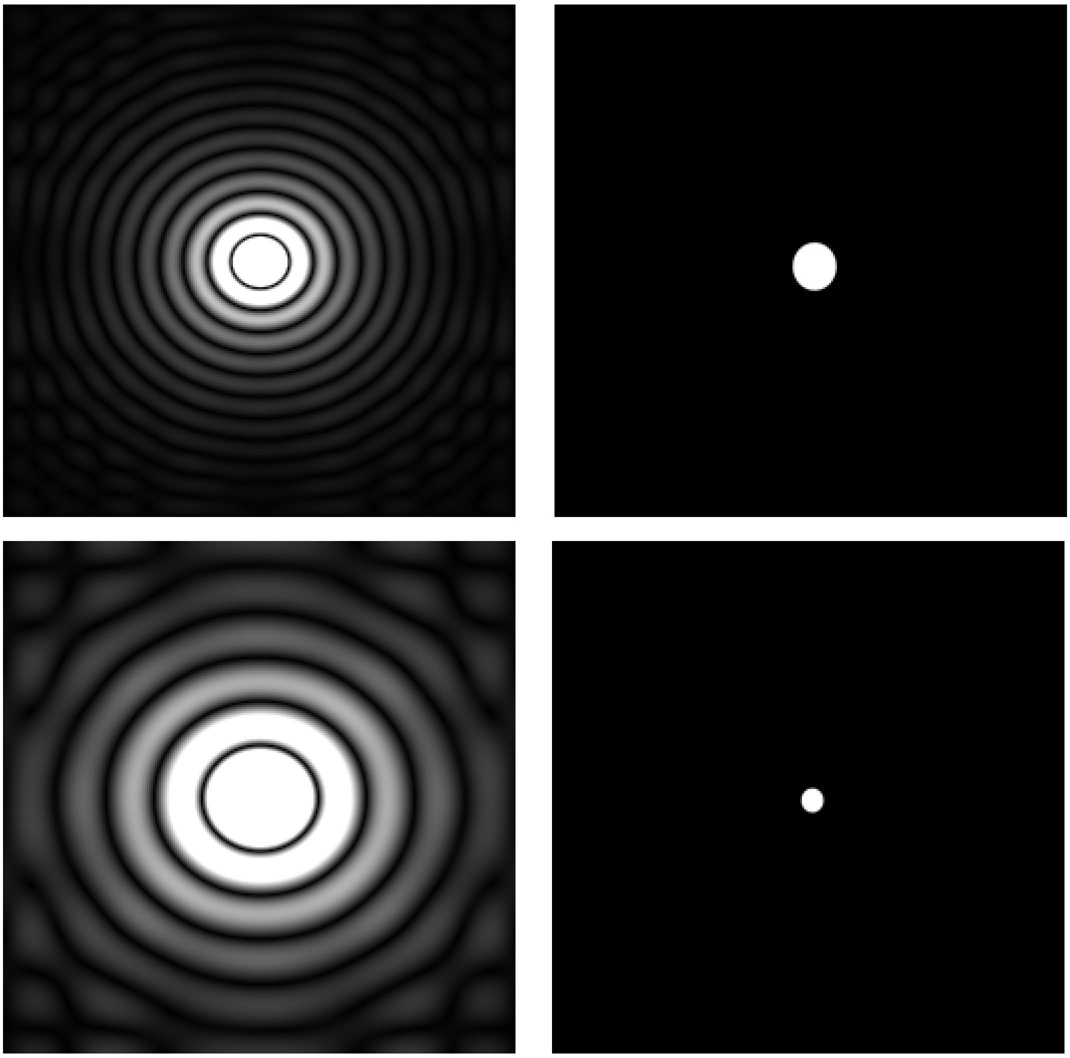
العينات الأخرى : الحروف الأولى من اسم المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته (HILRA)، و شعار جامعة دمشق.

العينة (١-١):

العينة الأولى كما ذكرت سابقاً، عبارة عن صورة رقمية نقطية أبعادها (256x256) Pixel تحت اسم (c.bmp). وهي العينة المدروسة في الشيفرة السابقة، و تحتوي على ثقب دائري يسمح بمرور الضوء من خلاله، أي كأن الثقب شفاف على قاع أسود، بالتالي يكون تابع العبورية هو التابع الممثل لهذا الثقب. باستخدام خوارزميات تحويل فورييه لهذا التابع، حصلنا

على الهولوغرام الذي تظهر عليه أهداب الانعراج على شكل صورة رقمية ثنائية الأبعاد أيضا وبنفس الأبعاد للعينة المدروسة Pixel (256x256). ويقوم البرنامج تلقائيا بحفظها بنفس مكان العينة على القرص الصلب تحت اسم (holo4c.bmp)، وحتى تتضح بعض الأمور التي احتاجها من أجل الدراسة، قمت بإنتاج هولوغرام لثقب دائري أخر نصف قطره أصغر من نصف قطر الثقب في العينة الأساسية.

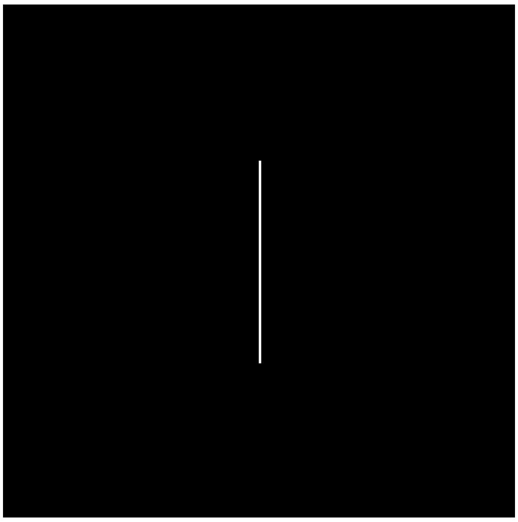
الصفيحة — **الهولوغرام**



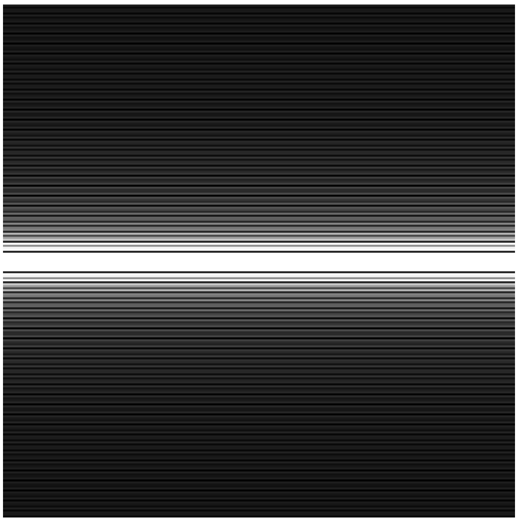
العينة (١-٢):

العينة الثانية صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (h.bmp)، وتحتوي على شق طولي (الطول أكبر بكثير من العرض والذي يكافئ Pixel واحد فقط) يمثل تابع العبورية في هذه الحالة. أما بالنسبة إلى الهولوغرام تم حفظه كصورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (holo4h.bmp).

الصفيحة



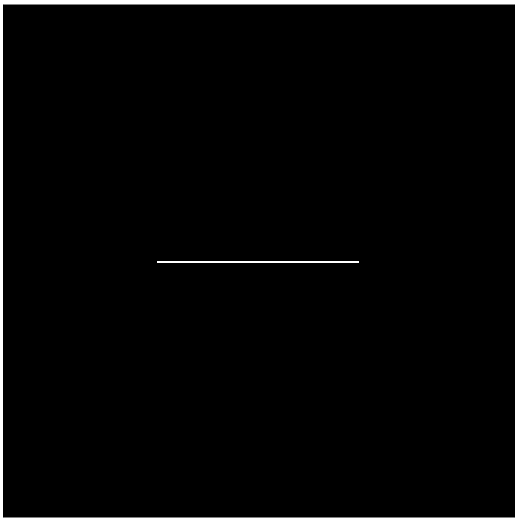
الهولوغرام



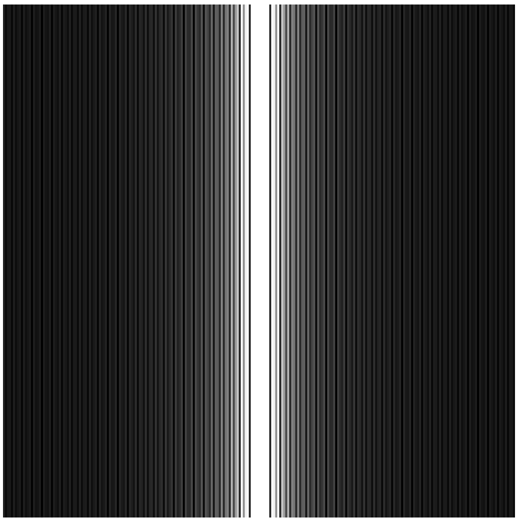
العينة (١-٣):

العينة الثالثة صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (w.bmp)، وتحتوي على شق عرضي (نفس العينة السابقة ولكن بشكل عرضي) يمثل تابع العبورية في هذه الحالة. أما بالنسبة إلى الهولوغرام تم حفظه كصورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (holo4w.bmp).

الصفيحة



الهولوغرام

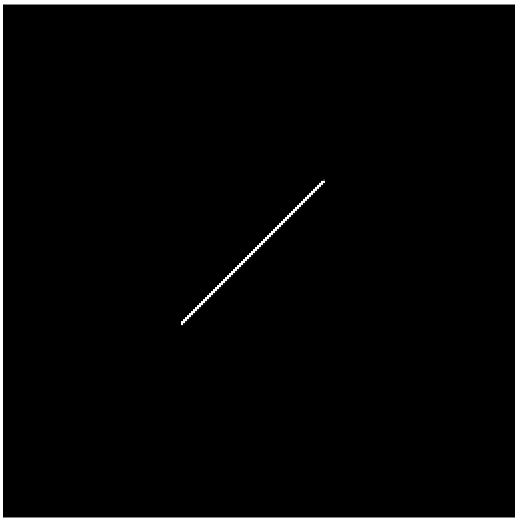
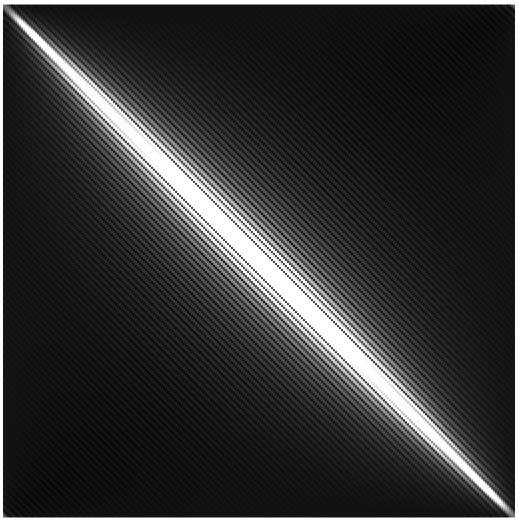


العينة (١-٤):

العينة الرابعة صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (bent.bmp)، وتحتوي على شق مائل بزاوية ٤٥° يمثل تابع العبورية في هذه الحالة. أما بالنسبة إلى

الهولوغرام، تم حفظه كصورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (holo4bent.bmp).

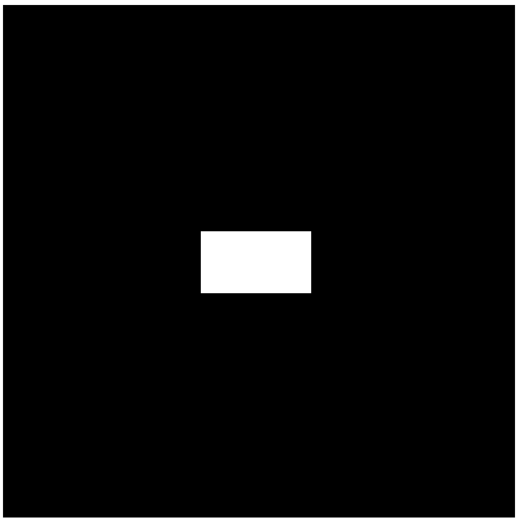
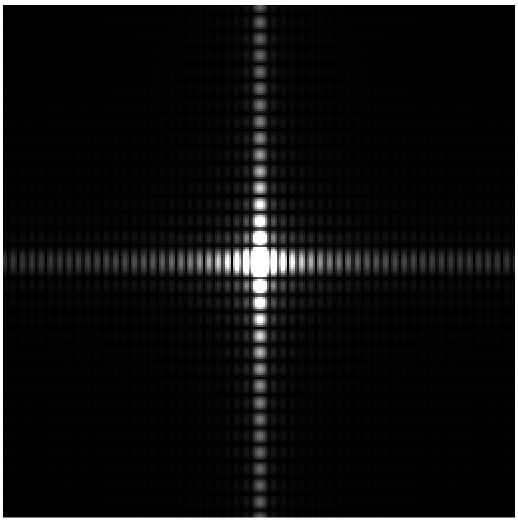
الصفيحة **الهولوغرام**

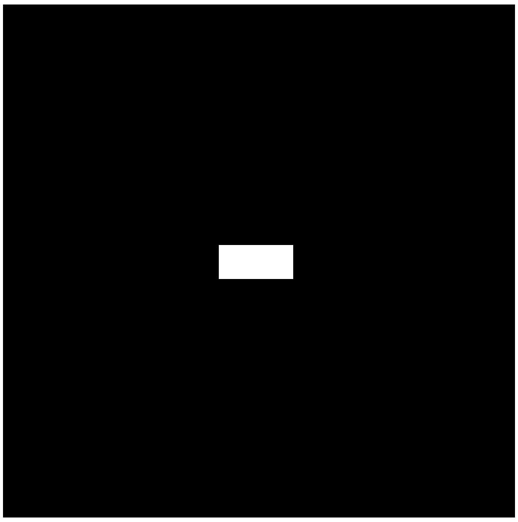
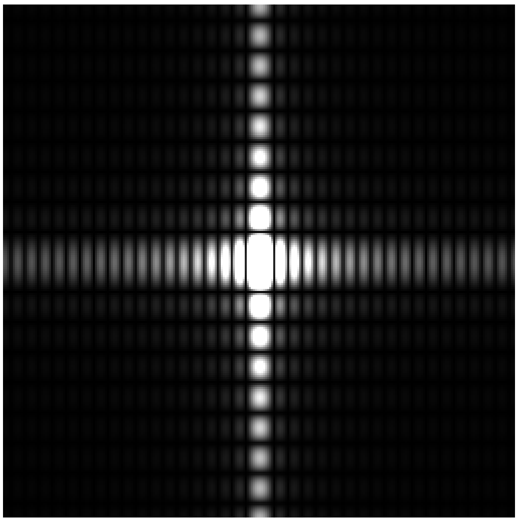



العينة (١-٥):

العينة الخامسة صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (rectangle.bmp)، وتحتوي على مستطيل (المستطيل الثاني يختلف طولا وعرض) يمثل تابع العبورية في هذه الحالة. أما بالنسبة إلى الهولوغرام، تم حفظه كصورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (holo4rectangle.bmp).

الصفيحة **الهولوغرام**

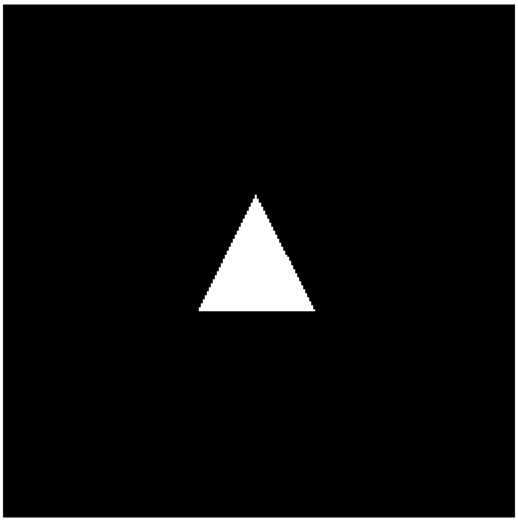
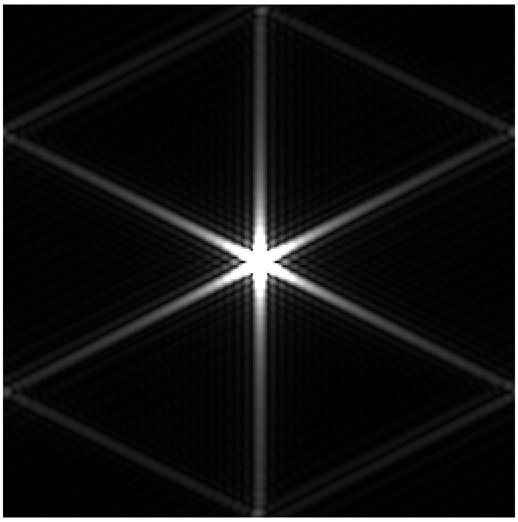



العينة (١-٦):

العينة السادسة صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (triangle.bmp)، وتحتوي على مثلث يمثل تابع العبورية في هذه الحالة. أما بالنسبة إلى الهولوغرام، تم حفظه كصورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256) تحت اسم (holo4 triangle.bmp).

الصفيحة **الهولوغرام**

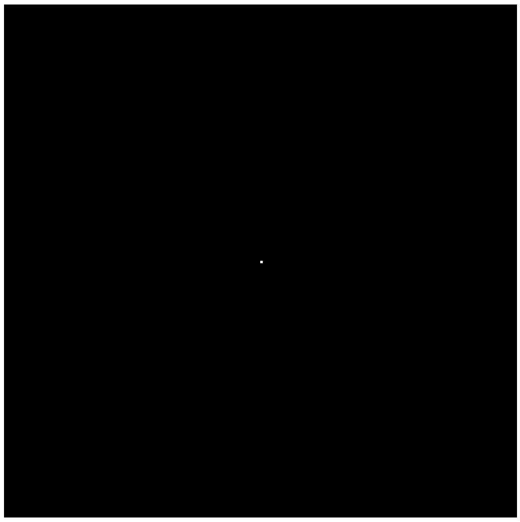



العينة (١-٧):

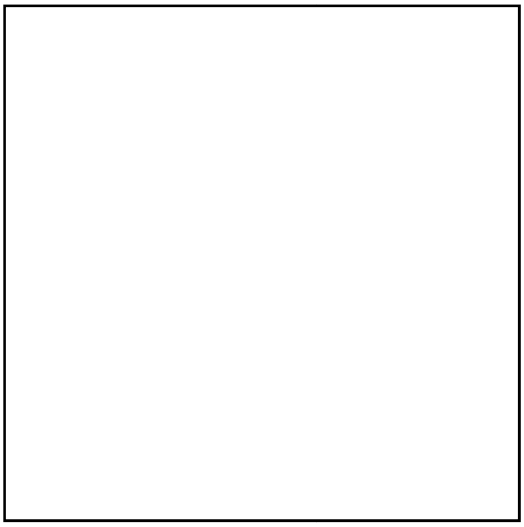
العينة السابعة صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256)، تحتوي على نقطة واحدة تعادل Pixel واحد فقط تحت الاسم (delta.bmp)، و بالتالي تشكل هذه النقطة تابع العبورية في هذه

الحالة. ومن خلال هذه الحالة حاولت الاقتراب من إنتاج هولوغرام لتابع الدلتا أو تابع ديراك، الذي كما أسلفنا سابقا وقلنا ، أنه يكافئ منبع نقطي وحيد اللون. أما بالنسبة إلى الهولوغرام تم حفظه تحت اسم (holo4delta.bmp)، الذي يظهر على شكل صورة بيضاء بالكامل.

الصفيحة



الهولوغرام



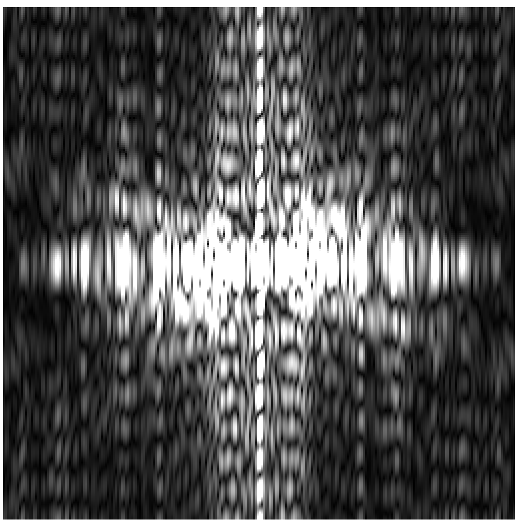
العينة (١-٨):

العينة الثامنة صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256)، عبارة على كتابة تحتوي على حروف لاتينية، تمثل اختصارا للمعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته H-I-L-R-A تحت الاسم (hilra.bmp)، و الهولوغرام تحت اسم (holo4hilra.bmp).

الصفيحة



الهولوغرام



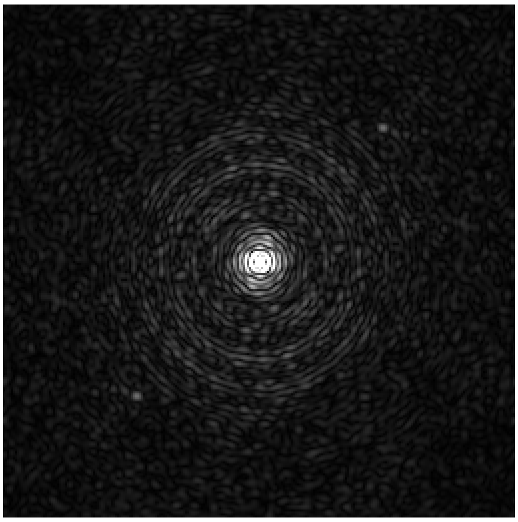
العينة (١-٩):

العينة التاسعة صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (256x256)، تحتوي على شعار جامعة دمشق تحت الاسم (logo.bmp)، و الهولوغرام تحت اسم (holo4logo.bmp).

الصفيحة



الهولوغرام



٢.١.٦ تحليل النتائج الخاصة بإنتاج الهولوغرام الرقمي:

أولا : ما يشاهد على الهولوغرام عبارة عن مناطق سوداء ومناطق بيضاء، أو تتدرج من الأبيض إلى الأسود، ولا نشاهد من خلالها أي صورة أو تفاصيل للعينة المدروسة، وهي تمثل أهداب الانعراج للضوء النافذ عن تابع الفتحة أو الشق أو ..الخ، والذي يدعى بتابع العبورية.

ثانيا : في الحالتين ضمن العينة (١-١) نلاحظ التشابه بينهما في النتيجة، باستثناء أن البقعة المركزية (الهدب المركزي) في الهولوغرام الخاص بالثقب ذي نصف القطر الأصغر، يكون أكثر اتساعا من ذلك الخاص بالثقب ذي نصف القطر الأكبر. وعليه كلما كان قطر الثقب أكبر كلما كان الهدب المركزي أصغر والعكس بالعكس. وهذا يدل على أن أبعاد الأهداب بالإضافة إلى المسافات فيما بينها، تتعلق بأبعاد تابع العبورية.

ثالثا : العينة (١-٢) والعينة (١-٣) والعينة (١-٤) متشابهة تماماً (بعد التدوير بزاوية ٩٠ درجة و ٤٥ درجة)، وعليه يمكننا القول أن عملية الدوران في مجال الموضع أو الزمن، يكافئها عملية دوران في مجال التردد، بحيث تكون أهداب الانعراج دوماً معامدة للشق.

رابعا : العينة (١-٥) الخاصة بالمستطيل تبدو وكأنها نتاج كل من العينة (١-٢) والعينة (١-٣) معا. فقد حصلنا على أهداب تعامد الطول وأهداب تعامد العرض، بالإضافة إلى تأكيد العلاقة بين أبعاد الأهداب والمسافة الفاصلة فيما بينها مع أبعاد تابع العبورية، وذلك من مقارنة الحالة الأولى والحالة الثانية لنفس العينة، فكلما كانت أبعاد المستطيل أصغر كلما كانت الأهداب أكثر اتساعاً.

خامسا : العينة (١-٦) الخاصة بالمثلث حصلنا من خلالها على أهداب تعامد الأضلاع الثلاث للمثلث، وهذه النتيجة حصلنا عليها من العينات (١-٢) و (١-٣) و (١-٤) فلكل ضلع أهداب معامدة له.

سادسا : العينة (١-٧) التي تحتوي على نقطة واحدة وهي تقريب لتابع الدلتا أو تابع ديراك كما ذكرت سابقا ، لاحظنا أن النتيجة كانت عبارة عن صورة بيضاء بالكامل، ويمكن تفسير هذه النتيجة حسب العينة الأولى (١-١)، لأنه يمكننا اعتبار النقطة ثقب دائري نصف قطره يقترب من الـ (٠)، وعليه و بالمقابل يزداد اتساع البقعة المركزية (الهدب المركزي) في الهولوغرام إلى اللانهاية، أي تبدو الصورة بيضاء بالكامل.

٦.١.٣ الالتفاف والارتباط :

٦.١.٣.١ الالتفاف :

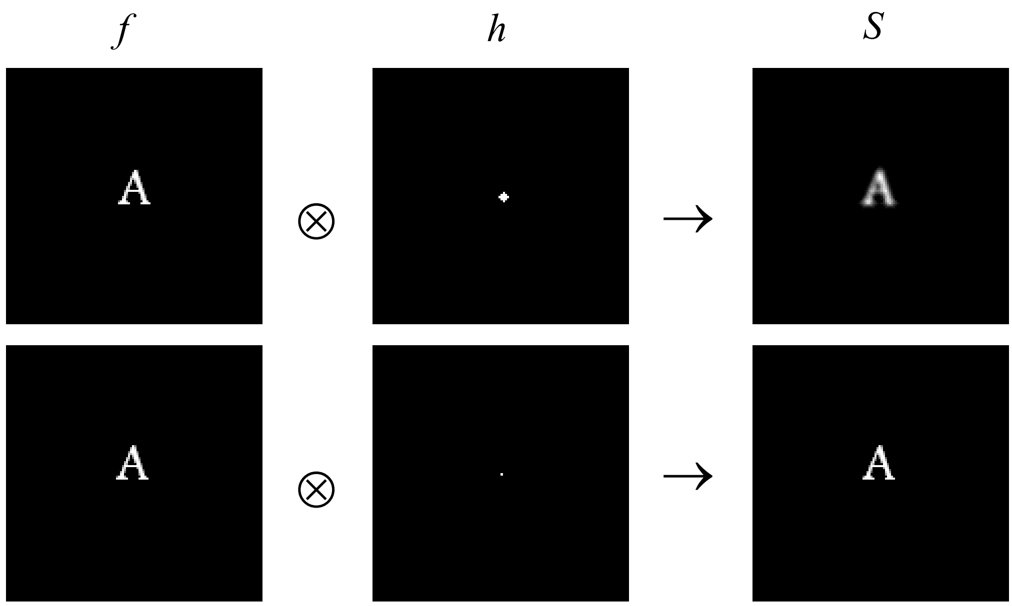
قمت بإجراء عملية محاكاة لعملية التفاف إشارة f(صورة ما) بالإشارة h (استجابة الجهاز)، حيث تمثل الإشارة f تابع العبورية لحرف A، بحيث يكون الحرف شفافا على خلفية أو قاع أسود، أي أن الضوء سينفذ فقط من الأماكن الشفافة والتي تمثل بمجموعها تابع عبورية هذا الحرف. أما الإشارة الأخرى h والتي تمثل الاستجابة النبضية للجهاز فهي عبارة عن ثقب دائري على قاع أسود. ويعود السبب في اختيار الثقب الدائري إلى أن معظم الأجهزة الضوئية تستخدم العدسات أو المغلاق ذو الفتحة المتغيرة، أو أي فتحات خاصة يمر عبرها الضوء كالمجهر و المنظار و أجهزة التصوير الفوتوغرافي. إضافة لذلك يمتلك الثقب الدائري أهمية كبيرة في فهم الآلية التي نرى بها الأشياء عبر فتحة العين، فالضوء النافذ إلى الشبكية يمر عبر فتحة الحدقة، بالنتيجة أية إشارة ضوئية نحصل عليها بعد مرورها عبر أي منظومة ضوئية، ما هي إلا إشارة الخرج S التي تنتج عن عملية التفاف الإشارة الأصلية بالاستجابة النبضية للجهاز أو المنظومة.

الشيفرة البرمجية لعملية الالتفاف :

```
%This code is written by Ali Al-alian
%Convolution.m
clear
%Input image 1 (reference image)
I1=imread('A.bmp','bmp');
I1=I1(:,:,1);
%displaying input image 1
figure(1)
colormap(gray(255));
image(I1)
title('reference image')
axis off
FI1=fft2(I1);
max1=max(FI1);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
FI1=FI1.*scale;
%Input image 2 (Response of System)
I2=imread('c.bmp','bmp');
I2=I2(:,:,1);
%displaying input image 2
figure(2)
colormap(gray(255));
image(I2)
title(' Response of System')
axis off
FI2=fft2(I2);
max1=max(FI2);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
FI2=FI2.*scale;
%calculating Convolution
FPR=FI1.*conj(FI2);
PR=ifft2(FPR);
PR=fftshift(PR);
max1=max(PR);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
PR=PR.*scale;
figure(3)%display of Convolution in spatial domain
colormap(gray(255));
image(abs(256*PR));
title('display of Convolution ')
axis off
%%%%%%%%%%%%output result image
imwrite(abs(PR),'re.bmp','bmp');
```

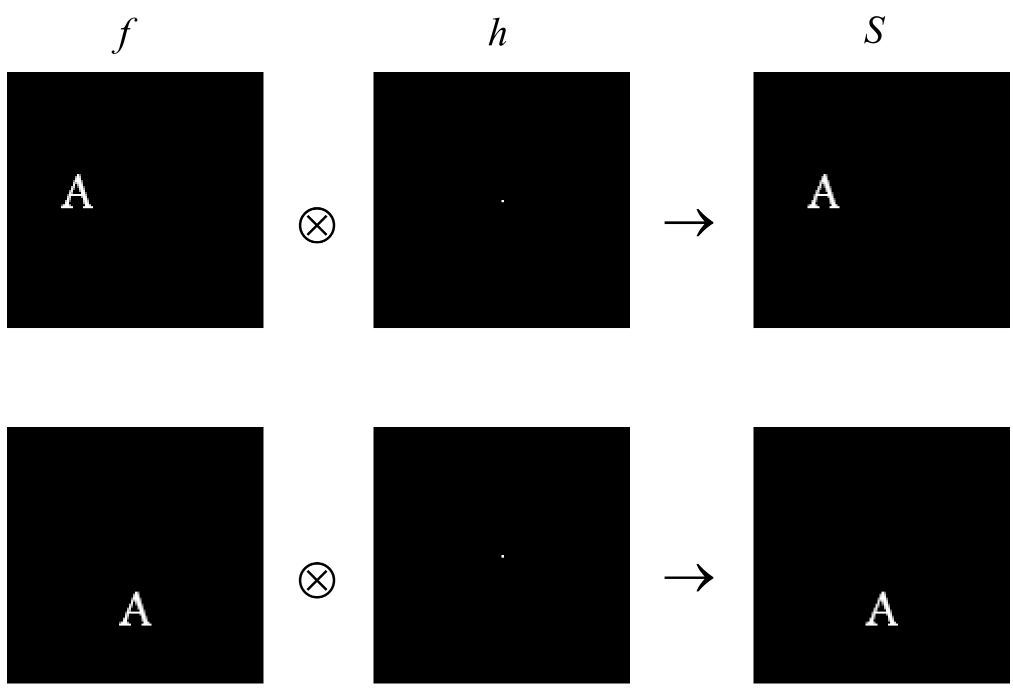
١-العينة (٢-١):

قمت بإنتاج الصورة الرقمية باستخدام برنامج Paint أبعادها Pixel (128x128) وهي تمثل الإشارة f تحت اسم (A.bmp يمكن تعديله في الشيفرة البرمجية في السطر الخامس)، حيث يتوضع الحرف (حرف A) تماما في منتصف الصورة. أما الصورة الممثلة للاستجابة النبضية للجهاز h تحت اسم (c.bmp يمكن تعديله في الشيفرة البرمجية في السطر التاسع عشر) ولها نفس أبعاد الصورة الأولى، وتم إنتاجها بنفس البرنامج وهي عبارة عن ثقب دائري في منتصف الصورة كحالة أولى، و ثقب نقطي (تابع الدلتا أو تابع ديراك) في حالة أخرى. بعد القيام بعملية المحاكاة، نحصل على إشارة الخرج S كنتيجة لعملية الالتفاف، أيضا على شكل صورة رقمية، والتي يتم حفظها تلقائيا تحت اسم (re.bmp) الذي يمكن تعديله في السطر الأخير من الشيفرة البرمجية.



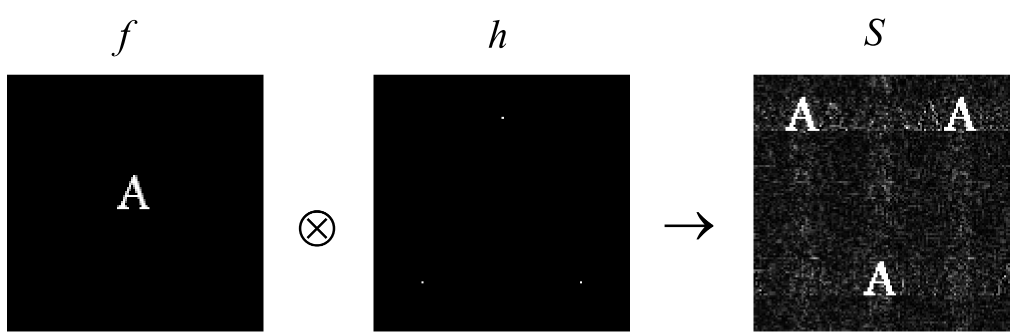
٢-العينة (٢-٢):

في هذه الحالة قمت بالاعتماد على نفس إشارة الدخل في العينة الأولى وبنفس الأبعاد، وهي الإشارة التي تحتوي على الحرف A .أما الإشارة الثانية الممثلة لاستجابة الجهاز النبضية، فهي عبارة عن ثقب نقطي أيضاً، ولكن بعد القيام بعملية انسحاب له على المحورين لدراسة أثر هذه العملية على عملية الالتفاف.



٣-العينة (٢-٣):

في هذه الحالة قمت بدراسة التفاف نفس الإشارة السابقة، ولكن في حال وجود أكثر من ثقب (ثلاث ثقوب نقطية). أي الحالة التي يحدث فيه التفاف للإشارة f مع كل ثقب بشكل مستقل، ثم يحدث تداخل بين إشارات الخرج.



٢.٣.١.٦ تحليل نتائج عملية الالتفاف :

أولا : في العينة (٢-١) نلاحظ في الحالة الأولى، أن إشارة الخرج S تشبه إشارة الدخل f بشكل مقبول، ولكن نلاحظ أنها غير واضحة تماما أو مشوهة، وهذا التغير أو التشوه يكافئ التغيرات أو التشوهات التي تحصل عند انتقال المعلومات أو الإشارات عبر الأجهزة، وهذا

التشوه أو التغير تابع فقط إلى استجابة الجهاز، وكلما كان الجهاز ذو استجابة أقل تشوها كان أكثر أمانة في نقل المعلومات. أما في الحالة الثانية وهي الحالة التي يمثل فيها (بشكل تقريبي) تابع الدلتا أو تابع ديراك الاستجابة النبضية للجهاز، نلاحظ الحصول على إشارة خرج متطابقة إلى حد بعيد مع إشارة الدخل، ويصعب التمييز بينهما. لان تابع ديراك يمثل العنصر الحيادي بالنسبة لعملية الالتفاف كما ذكرنا ذلك في الفصل الثاني، وعليه تخرج الإشارة من المنظومة بدون أي تشوه أو تغيير. مما سبق نستنتج أهمية دراسة الاستجابة النبضية للجهاز عند استخدامه لنقل أي معلومة أو أي إشارة ضوئية أو غير ضوئية بدون استثناء.

ثانيا : في العينة (٢-٢) نلاحظ تأثير عملية الانسحاب على عملية الالتفاف، فعندما تعاني إشارة الدخل f من انسحاب بمقدار محدد، فإن إشارة الخرج S تعاني أيضا من عملية انسحاب و بنفس المقدار. بالتالي يمكن القول أن كل من العمليتين (الانسحاب والالتفاف) مستقلتين عن بعضهما البعض.

ثالثا : في العينة (٢-٣) يتبين لدينا حدوث عملية الالتفاف مع كل ثقب على حدا وبشكل مستقل ، حيث تعاني إشارة الدخل f من عدة عمليات التفاف (التفاف متعدد)، فإشارة الدخل تلتف مع كل ثقب نقطي على حدا وتعطي إشارة خرج عن كل عملية التفاف. وبما أن عدد الثقوب لدينا ثلاث بالتالي عدد عمليات الالتفاف أيضا ثلاث عمليات، وبالنتيجة سنحصل على ثلاث إشارات خرج لنفس الحرف مع حدوث الانسحاب، وهذا ما حصلت عليه فعلاً. ولكن من الملاحظ أن الصورة الممثلة لجميع إشارات الخرج تعاني تشوهاً، مع أن تابع الاستجابة h هو عبارة عن ثقب نقطي أو تابع ديراك في العمليات الثلاث، ويعود السبب في ذلك إلى حدوث تداخل بين إشارات الخرج، وكنتيجة لعملية التداخل يتشكل لدينا صور أخرى تخص الطيف من مراتب أعلى، وتكون غير واضحة إلى جانب الطيف المركزي الذي يظهر بشكل واضح.

٦.١.٣.٣ الارتباط :

إن دراسة الارتباط مشابهة تماما لدراسة الالتفاف من حيث ضم إشارتين والحصول على إشارة واحدة. ولكن عند دراسة الارتباط لا تدخل إشارة استجابة للمنظومة أو الجهاز كواحدة من الإشارتين المضمومتين، وإنما يكون الهدف هو القيام بضم إشارتين معلومتين نبحث من خلال عملية الضم هذه مدى التشابه بين الإشارتين أو تحديد وجود أحد من الإشارتين ضمن الإشارة الأخرى. وهذا ما سنستفيد منه عند دراسة تمييز الأجسام وكشف التطابق فيما بينها. أما بالنسبة إلى تمثيل عملية الارتباط فيمكننا تمثيل الارتباط باستخدام نفس علاقات الالتفاف، وقد أوضحت

ذلك في الفصل الثاني من البحث. وعلى هذا الأساس يوجد تشابه كبير بين الشيفرة البرمجية الخاصة بمحاكاة عملية الارتباط، مع الشيفرة البرمجية الخاصة بعملية الالتفاف مع بعض التعديلات البسيطة فقط.

الشيفرة البرمجية لعملية الارتباط :

```
%This code is written by Ali Al-alian
%correlation.m
clear
%Input image 1 (reference image)
I1=imread('ali.bmp','bmp');
I1=I1(:,:,1);
%displaying input image 1
figure(1)
colormap(gray(255));
image(I1)
title('reference image')
axis off
FI1=fft2(I1);
max1=max(FI1);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
FI1=FI1.*scale;
%Input image 2 (image to be recognized)
I2=imread('fourier.bmp','bmp');
I2=I2(:,:,1);
%displaying input image 2
figure(2)
colormap(gray(255));
image(I2)
title('image to be recognized')
axis off
FI2=fft2(I2);
max1=max(FI2);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
FI2=FI2.*scale;
%calculating correlation
FPR=FI1.*conj(FI2);
PR=ifft2(FPR);
PR=fftshift(PR);
max1=max(PR);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
PR=PR.*scale;
figure(3)%display of correlation in spatial domain
colormap(gray(255));
```

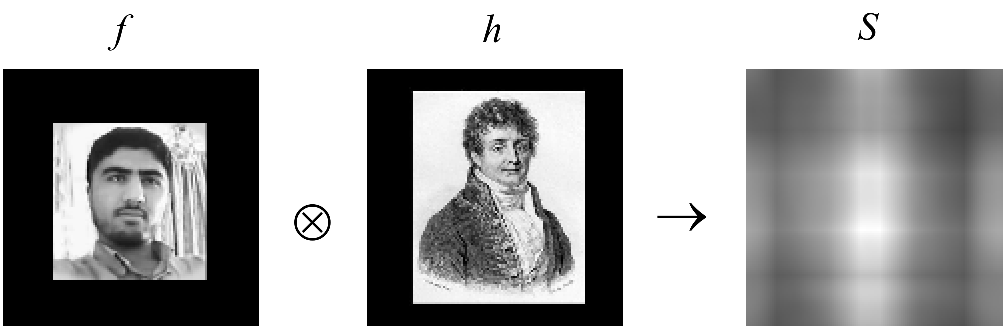
```
image(abs(256*PR));
title('display of correlation')
axis off
%%%%%%%%%%%%output result image
imwrite(abs(PR),'re.bmp','bmp');
-----------------------------------------------------------
```

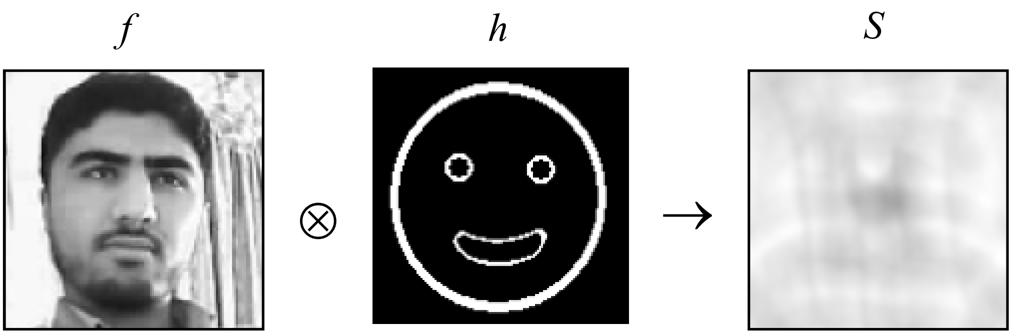
نميز في عملية الارتباط بين حالتين أساسيتين : وهما الارتباط الذاتي والارتباط التبادلي وهذا يتوقف على كل من الإشارتين اللتين تحدث بينهما عملية ارتباط.

الحالة الأولى : حالة الارتباط التبادلي Cross-correlation:

١-العينة (٣-١):

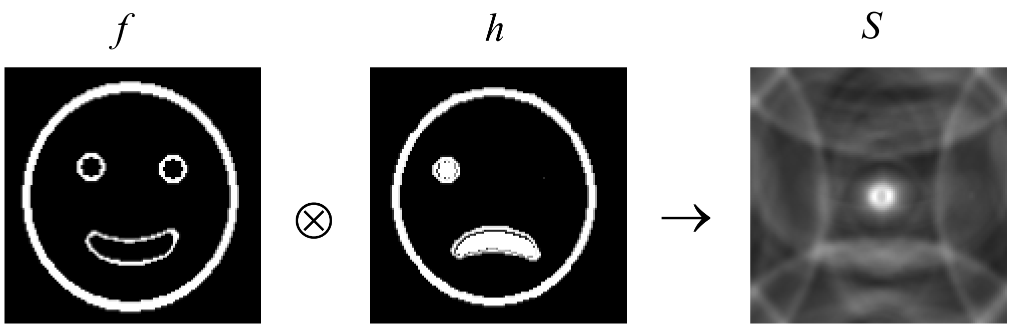
في هذه العينة تتم عملية ارتباط بين إشارتين مختلفتين تماماً، الإشارة الأولى f عبارة عن صورة رقمية نقطية أبعادها Pixel (128x128)، وهي عبارة عن صورة شخصية تم سحبها باستخدام الماسح الضوئي بتدرج رمادي اللون وهي تحت اسم (ali.bmp يمكن تعديله من السطر الخامس من الشيفرة البرمجية). أما الإشارة الأخرى h فهي أيضا صورة رقمية بنفس أبعاد الصورة الأولى و تم الحصول عليها من الموسوعة العلمية الرقمية Britannica، وهي صورة تخيلية للعالم فورييه وهي تحت اسم (fourier.bmp يمكن تعديلها من السطر التاسع عشر من الشيفرة البرمجية). بالإضافة إلى صورة ثالثة قمت بإنتاجها من أجل حالة أخرى باستخدام برنامج Paint وبنفس الأبعاد أيضاً، بعد القيام بعملية المحاكاة نحصل على النتيجة على شكل إشارة S يتم حفظها تلقائيا تحت اسم (re.bmp في السطر الأخير من الشيفرة البرمجية) :

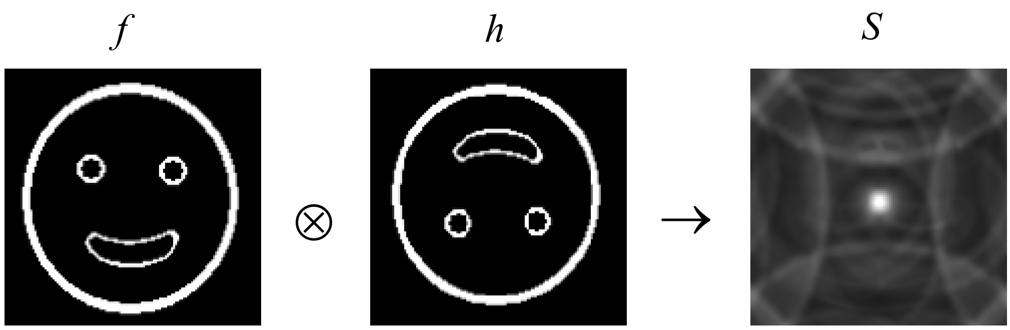




٢-العينة (٣-٢):

في هذه العينة سيكون لدينا إشارتين غير متطابقتين ولكن متشابهتين إلى حد ما، وهذه العينة تندرج أيضا تحت حالة الارتباط التبادلي، و كل من الإشارتين f و h هي عبارة عن صور رقمية تم إنتاجها ببرنامج Paint وبأبعاد Pixel (128x128) :



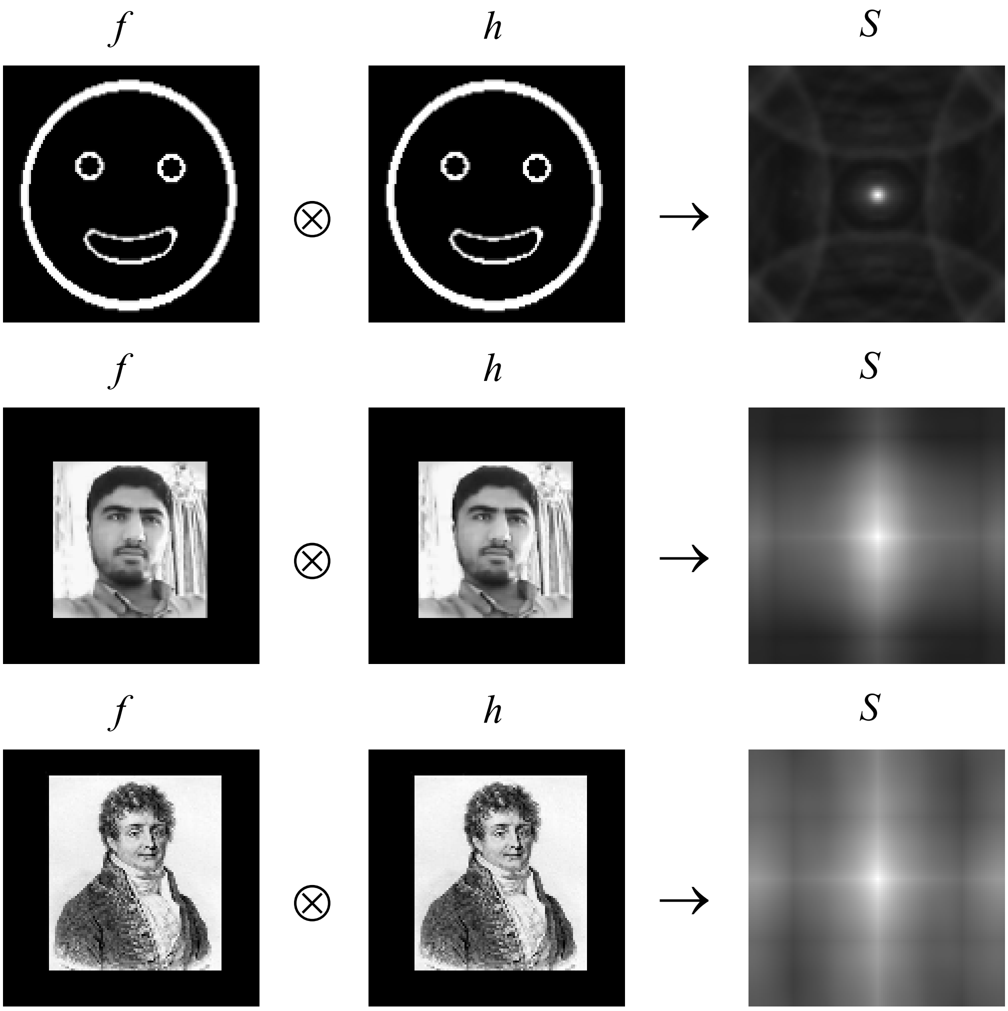


الحالة الثانية : حالة الارتباط الذاتي Auto-correlation:

٣-العينة (٣-٣):

في هذه العينة تكون الإشارتين متطابقتين تماماً، أي كأن الإشارة ارتبطت مع ذاتها. أما بالنسبة إلى الصور المستخدمة في هذه العينة، قمت باستخدام نفس الصور التي استخدمتها في العينة _

(٣-١) والعينة (٣-٢) مع الانتباه إلى أن عملية الارتباط تتم بين الصورة و ذاتها.



٦.١.٣.٤ تحليل النتائج الخاصة بعملية الارتباط :

أولا : في العينة **(٣-١)** كانت كل من الإشارتين المرتبطتين مختلفتين تماماً ولا يوجد أي تشابه بينهما، و كانت نتيجة عملية الارتباط صورة مشتتة ليس لها معالم واضحة يمكن أن نستفيد منها ، ولكن في العينة **(٣-٢)** نلاحظ تبدل واضح في الصورة الناتجة عن عملية الارتباط، ففي هذه العينة يوجد بعض التشابه بين الإشارتين المرتبطتين، حيث نلاحظ تشكل بقعة مركزية مضيئة تصبح أكثر تركيزا كلما كانت الإشارتين أكثر تشابها مع وجود بعض الخطوط والدوائر التي تحيط بهذه البقعة، وهذا ما تحدثنا عنه في الفصل الرابع من أن شدة إضاءة البقعة تتعلق بمدى الارتباط بين الشكل الذي نبحث عنه والشكل الذي نبحث ضمنه، فكلما كان الارتباط بينهما أكبر كانت الإضاءة أكبر والعكس بالعكس.

ثانيا : في العينة **(٣-٣)** يتشكل لدينا بقعة مركزية مضيئة أكثر تركيزاً وتمركزاً في منتصف الصورة، لان عملية الارتباط في هذه العينة تحدث بين الصورة ومطابقتها، والتطابق هو أعلى حالات التشابه. بالتالي يمكن الاستفادة من هذه الملاحظة في كشف مدى التشابه أو التطابق بين الأشكال.

ثالثا : يمكن استخدام الهولوغرام الرقمي المنتج كمرشح للتواترات المكانية، حيث أن الهولوغرام لن يستجيب إلا مع الشكل الذي يوجد ارتباط كبير معه، أي يسمح بمرور الشكل الموافق له ولا يسمح بمرور الشكل المخالف، وهذا باختصار ما تقوم عليه تقنية المرشحات الهولوغرافية، حيث نشاهد في مستوي المراقبة نقاطا مضيئة على قاع أسود تشير إلى مواضع وجود الشكل الذي نبحث عنه ضمن شكل أخر.

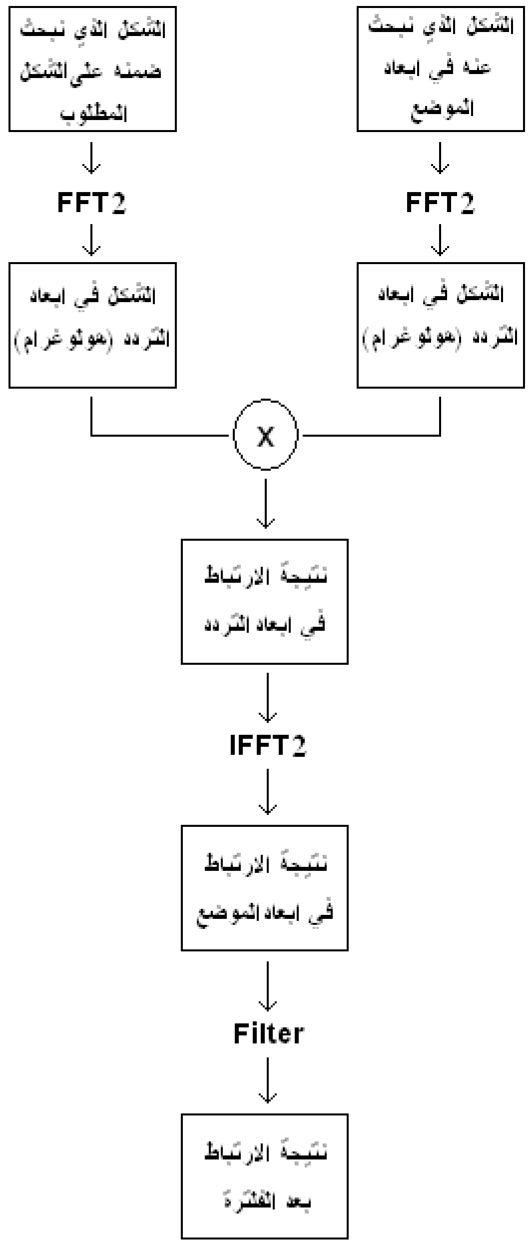
٦.١.٤ تمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي :

في الحالة الأخيرة من الفقرة السابقة تبين لنا في حالة الارتباط الذاتي، أنه عند حدوث ارتباط بين الشكل والشكل المطابق له تظهر لنا بقعة مركزية مضيئة. وعليه يمكننا تميز شكل نبحث عنه ضمن مجموعة أشكال بطريقة الارتباط، لأن الارتباط الذاتي سيحدث فقط مع الشكل المشابه أو المطابق، والذي نميزه بالبقعة البيضاء المركزية. أما بقية الأشكال فسيحدث معها ارتباط تبادلي، تظهر فيها النتيجة بشكل مشتت وغير واضحة ولا يعطي بقعة مركزية واضحة. باختصار سنستخدم الهولوغرام الرقمي الثنائي كمرشح يحدد لنا أماكن التشابه أو التطابق بين شكلين.

للقيام بتحديد مكان الشكل الذي نبحث عنه ضمن مجموعة أشكال بدقة تامة، قمت بالتخلص من الأثر الذي يسببه الارتباط التبادلي عن طريق القيام بعملية ترشيح (فلتره) خاصة سأقوم بشرحها لاحقاً.

قمت بإجراء العديد من عمليات المقارنة للأشكال، واعتمدت على تمييز أشكال الحروف أو الكلمات ضمن النصوص، حيث قمت بكتابة الحرف على صفيحة سوداء، أما الحرف فيكون بلون أبيض وهذا يكافئ كتابة حرف شفاف على قاع عاتم.

مخطط العمل :



قمت بعملية تمثيل بسيط للخطوات الواجب اتبعاها وهي كما في المخطط المجاور.

أولا: نقوم بإجراء تحويل فوريية للشكل الذي نرغب بالبحث عنه وهو يمثل هولوغرام الشكل، ثم نقوم أيضا بإجراء تحويل فوريية للصفيحة التي تحوي مجموعة الأشكال، ومن بينها الشكل نفسه.

ثانيا: نقوم بإجراء عملية جداء بين تحويلي فوريية، وهذا يكافئ عملية الارتباط (الالتفاف أو الارتباط في مجال الزمن أو الموضع يكافئه جداء في مجال التردد حسب بلانشيريل).

ثالثا: نحصل على ناتج الجداء الذي نجري عملية تحويل عكسي له للعودة إلى ساحة أبعاد الموضع ، فنحصل على صفيحة المقارنة.

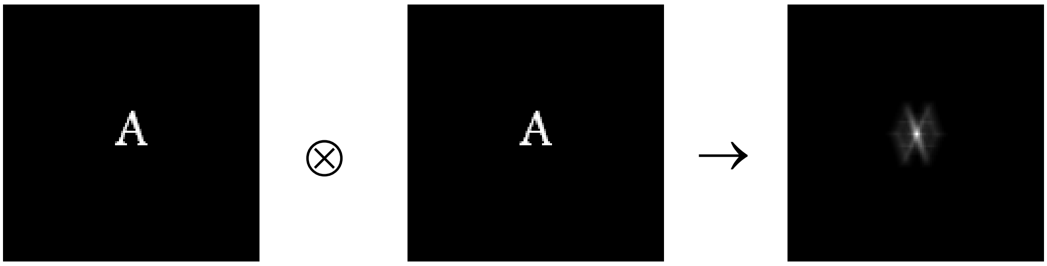
رابعا: استخدمنا عملية ترشيح خاصة للتخلص من الترددات المحيطة بالبقعة المركزية وهي.

العينة الأولى :

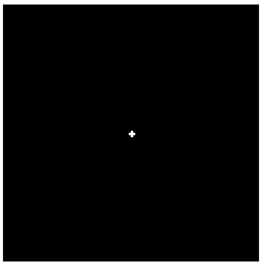
١- تمييز حرف A ضمن نص مؤلف من نفس الحرف فقط و بنفس الموضع :

جميع الأشكال التي نرغب بإجراء عملية التمييز فيما بينها عبارة عن صور رقمية تم إنتاجها ببرنامج Paint، وبأبعاد Pixel (128x128) وتكون نتيجة المحاكاة أيضا صور رقمية بنفس الأبعاد.

نتيجة البحث الشكل الذي نبحث ضمنه الشكل الذي نبحث عنه



بعد عملية الترشيح ستصبح النتيجة السابقة بالشكل :

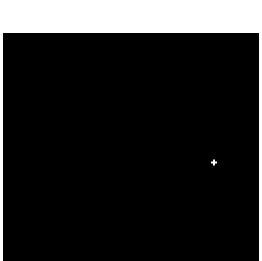


٢- تمييز حرف A ضمن نص مؤلف من نفس الحرف فقط و بموضع مختلف :

نتيجة البحث الشكل الذي نبحث ضمنه الشكل الذي نبحث عنه



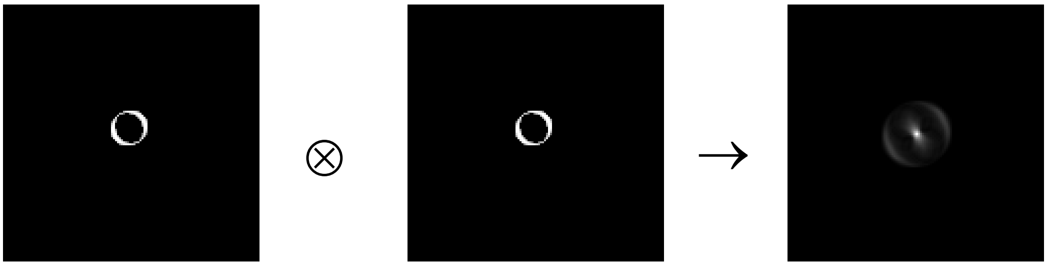
بعد عملية الترشيح ستصبح النتيجة السابقة بالشكل :



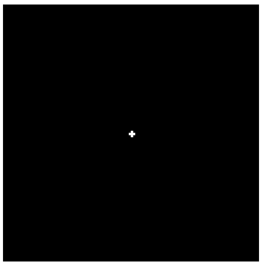
العينة الثانية :

١- تمييز حرف o ضمن نص مؤلف من نفس الحرف فقط و بنفس الموضع :

الشكل الذي نبحث عنه   الشكل الذي نبحث ضمنه   نتيجة البحث

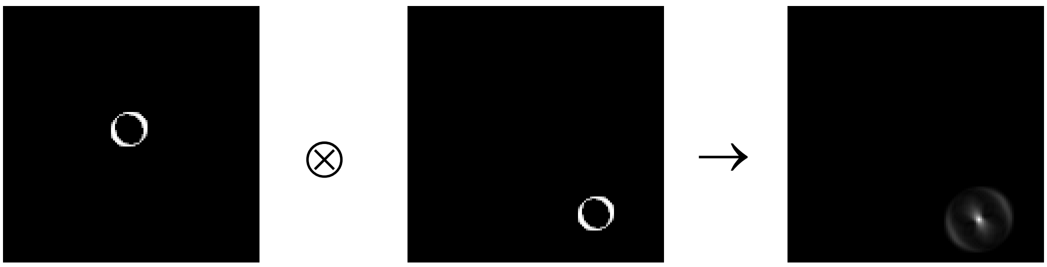


بعد عملية الترشيح ستصبح النتيجة السابقة بالشكل:

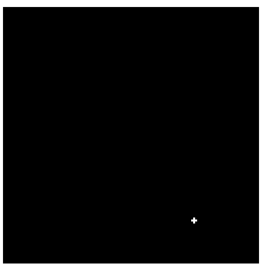


٢- تمييز حرف o ضمن نص مؤلف من نفس الحرف فقط و بموضع مختلف :

الشكل الذي نبحث عنه   الشكل الذي نبحث ضمنه   نتيجة البحث



بعد عملية الترشيح ستصبح النتيجة السابقة بالشكل :



العينة الثالثة :

١- تمييز حرف A ضمن نص يحتوي على نفس الحرف مع حروف أخرى :

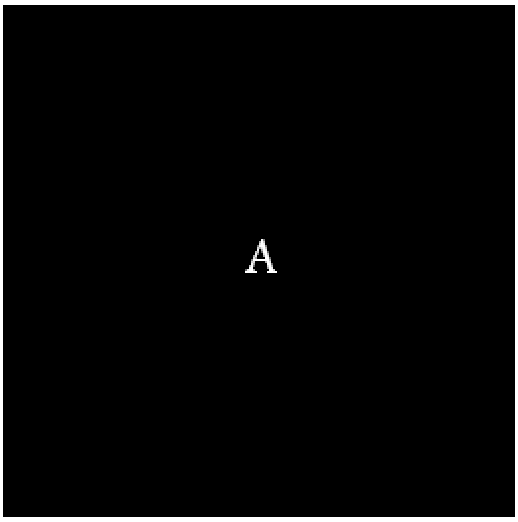
النص الذي نبحث ضمنه على حرف A هو اختصار اسم المعهد HILRA.علما أن أبعاد الصور في هذه العينة هي Pixel (256x256)، وتكون نتيجة المحاكاة أيضا صور رقمية بنفس الأبعاد.

الشكل الذي نبحث ضمنه

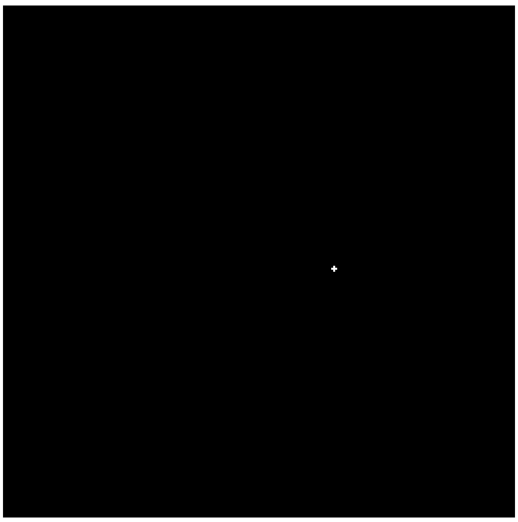


⊗

الشكل الذي نبحث عنه



نتيجة البحث بعد الترشيح



نتيجة البحث

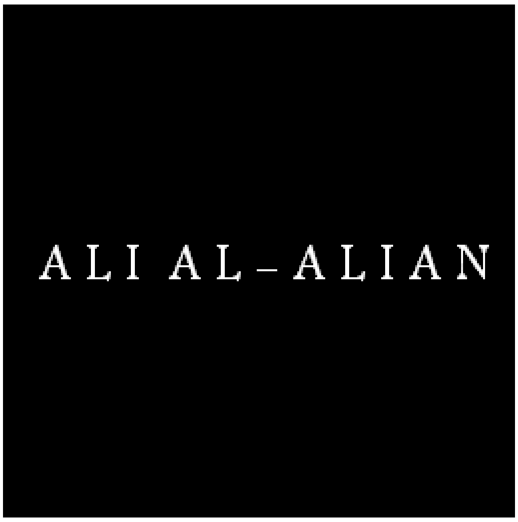


→

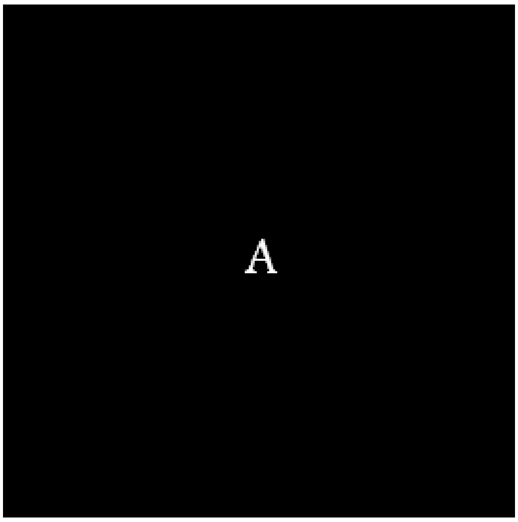
٢- تمييز حرف A ضمن نص يحتوي على نفس الحرف مكرر أكثر من مرة مع حروف أخرى:

النص الذي نبحث ضمنه على حرف A هو ALI AL-ALIAN، حيث يتكرر الحرف A أربع مرات في مواضع مختلفة ضمن النص .

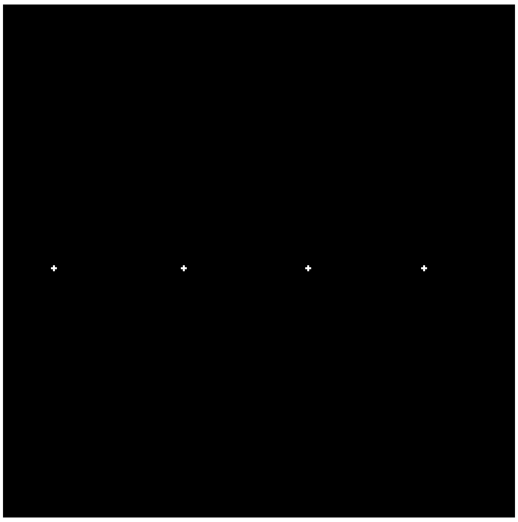
الشكل الذي نبحث ضمنه



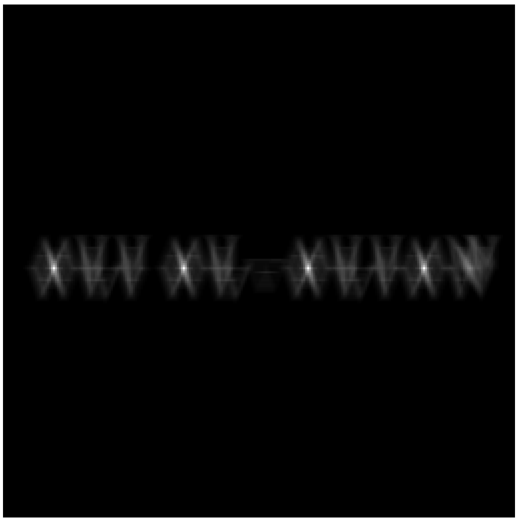
الشكل الذي نبحث عنه



نتيجة البحث بعد الترشيح



نتيجة البحث

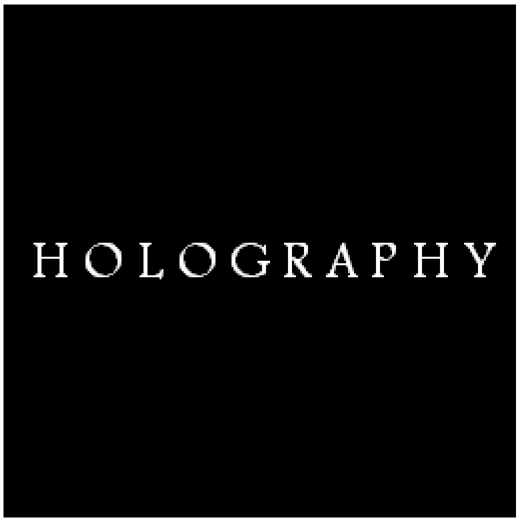


العينة الرابعة :

١- تمييز حرف O ضمن نص يحتوي على نفس الحرف مكرر أكثر من مرة مع حروف أخرى :

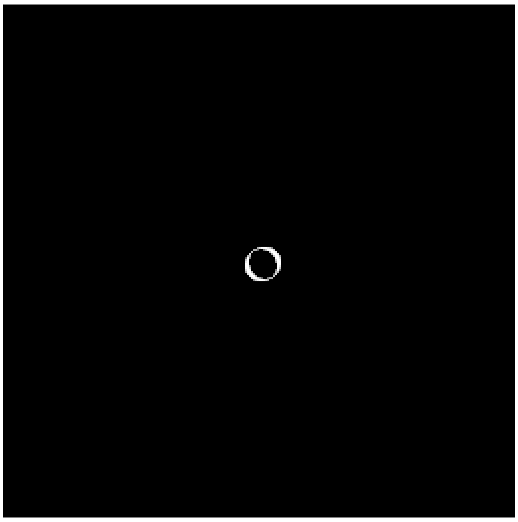
الكلمة التي نبحث ضمنها عن الحرف O هي كلمة Holography، حيث يتكرر الحرف O مرتين في موضعين مختلفين.

الشكل الذي نبحث ضمنه

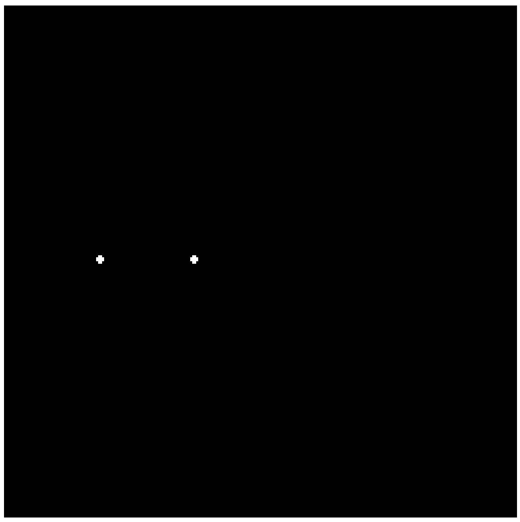


⊗

الشكل الذي نبحث عنه



نتيجة البحث بعد الترشيح



نتيجة البحث

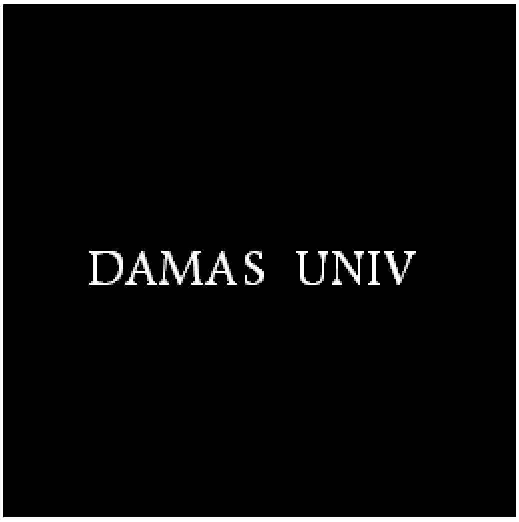


→

٢- تمييز حرف S ضمن نص يحتوي على نفس الحرف مع حروف أخرى:

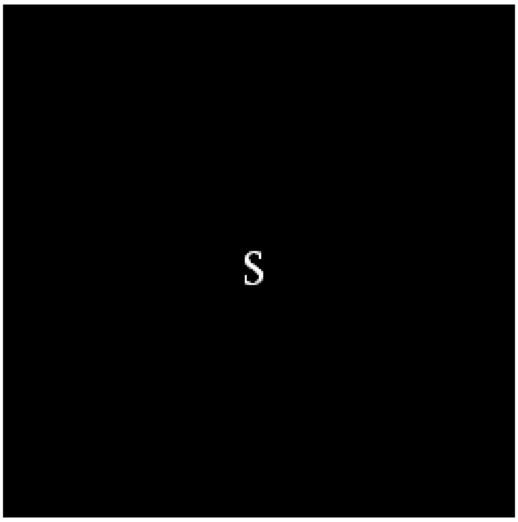
الكلمة التي نبحث ضمنها على حرف S هي DAMAS UNIV، الحرف موجود مرة واحدة فقط.

الشكل الذي نبحث ضمنه

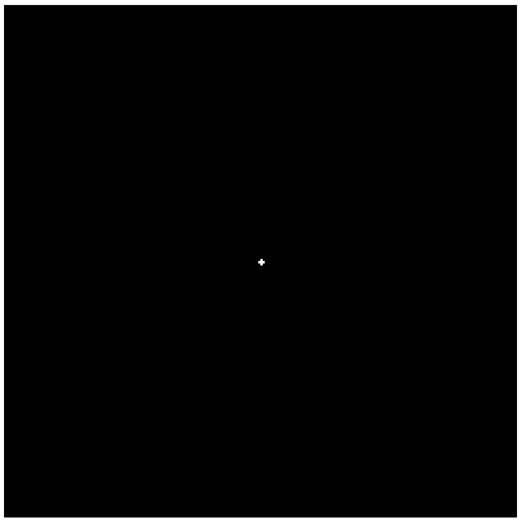


⊗

الشكل الذي نبحث عنه



نتيجة البحث بعد الترشيح



→

نتيجة البحث

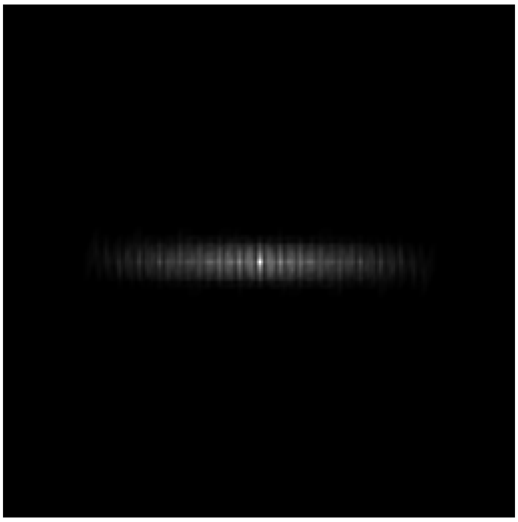


العينة الخامسة :

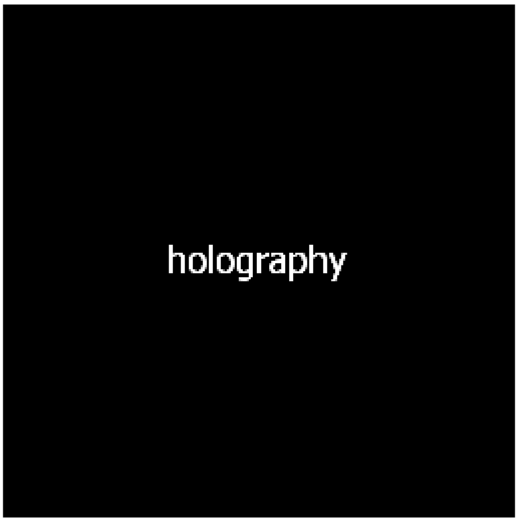
١- تمييز كلمة ضمن نص:

الكلمة التي سنبحث عنها هي holography، حيث سيحدث في المواضع التي تتواجد فيها ضمن النص ارتباط ذاتي. قبل البدء بتميزها ضمن نص يجب أن نعرف كيف ستظهر ضمن النص. قمنا بإجراء ارتباط ذاتي للكلمة مع نفسها وظهرت النتيجة بالشكل التالي :

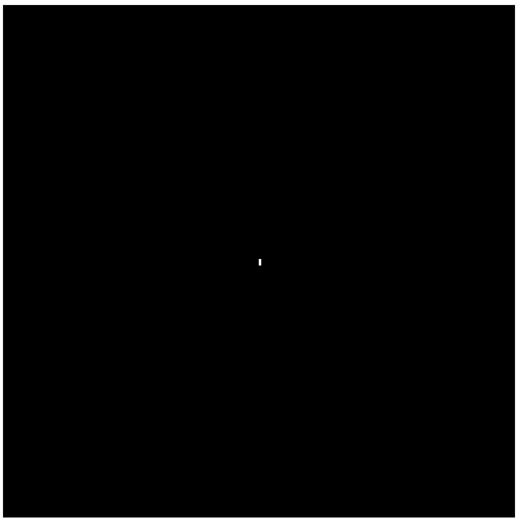
ناتج ارتباطها مع نفسها



الكلمة

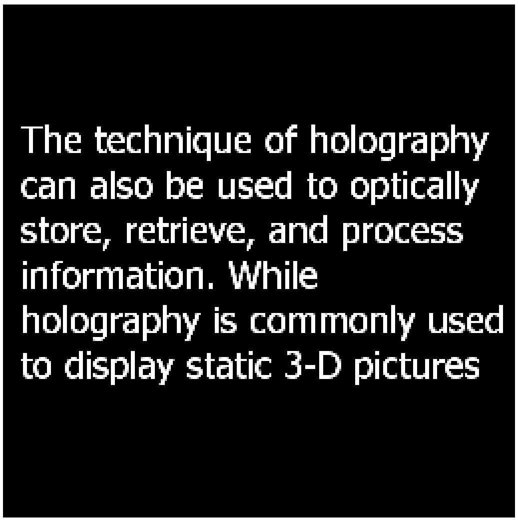


الآن أصبحنا نعرف كيف ستظهر الكلمة ضمن النص (هدب مركزي مضيء و بجواره أهداب أقل إضاءة). لكن خوفا من التشابه قمت بعملية الترشيح للتواترات المحيطة بالهدب المركزي، وعليه يجب أن يظهر في موضع الكلمة، وعوضا عن الشكل السابق بقعة بيضاء واحدة تشير إلى موضع الكلمة ضمن الجملة أو النص.



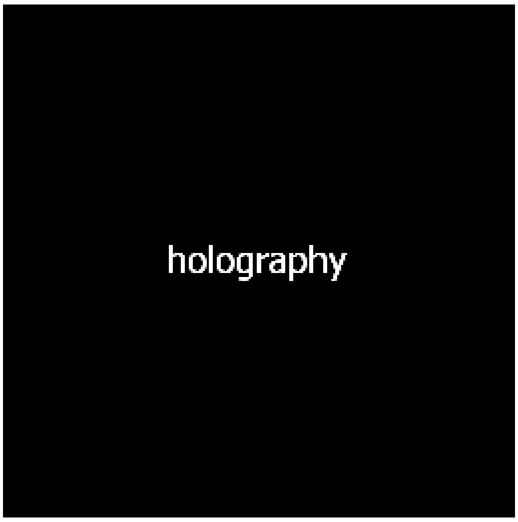
الآن سنبحث عن الكلمة السابقة ضمن النص :

الشكل الذي نبحث ضمنه

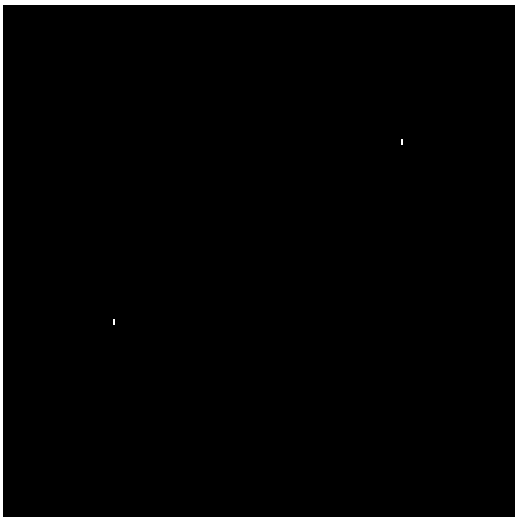


⊗

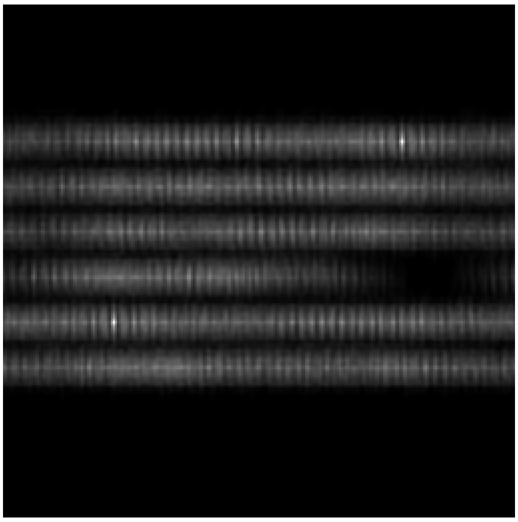
الشكل الذي نبحث عنه



نتيجة البحث بعد الترشيح



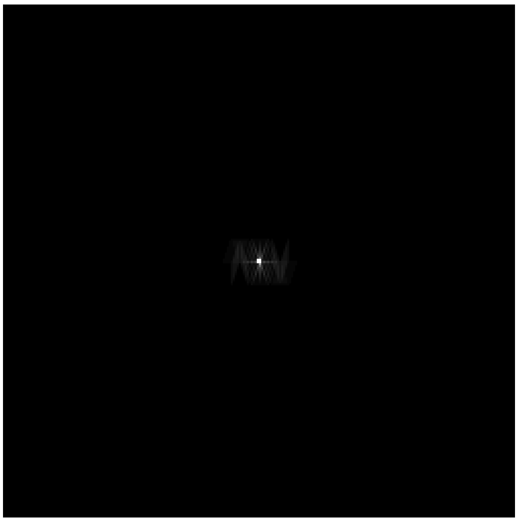
نتيجة البحث



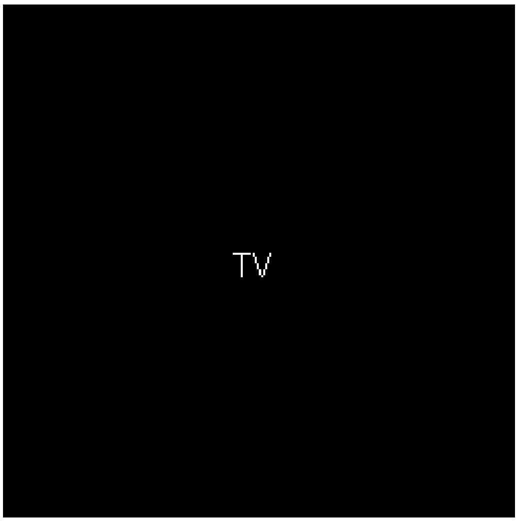
→

٢- الكلمة التي سنبحث عنها هي TV، حيث سيحدث في المواضع التي تتواجد فيها هذه الكلمة ضمن النص ارتباط ذاتي. قبل البدء بتميزها ضمن نص يجب أن نعرف كيف ستظهر ضمن النص، لذلك قمنا بإجراء ارتباط ذاتي للكلمة مع نفسها وظهرت النتيجة بالشكل التالي :

ناتج ارتباطها مع نفسها

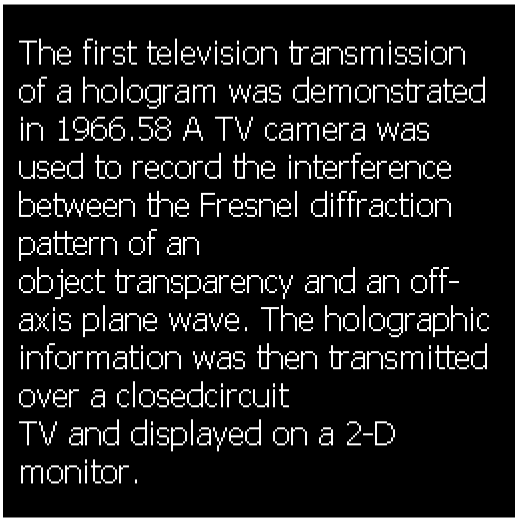


الكلمة



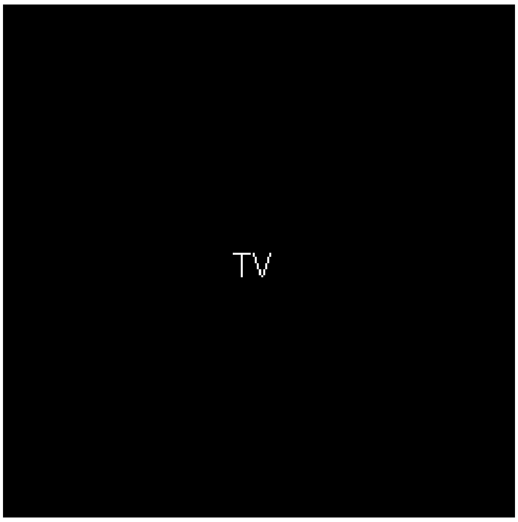
الآن سنبحث عن الكلمة السابقة ضمن النص :

الشكل الذي نبحث ضمنه

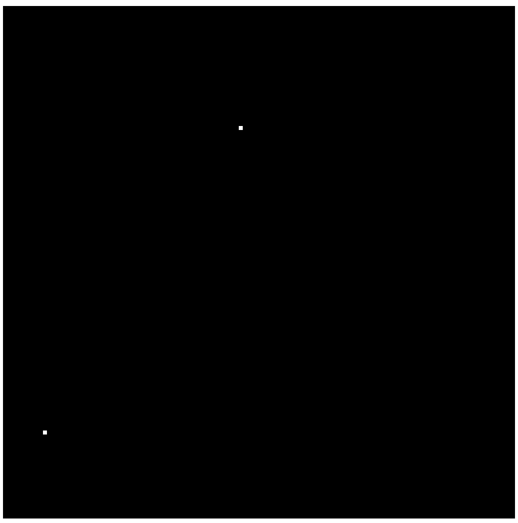


⊗

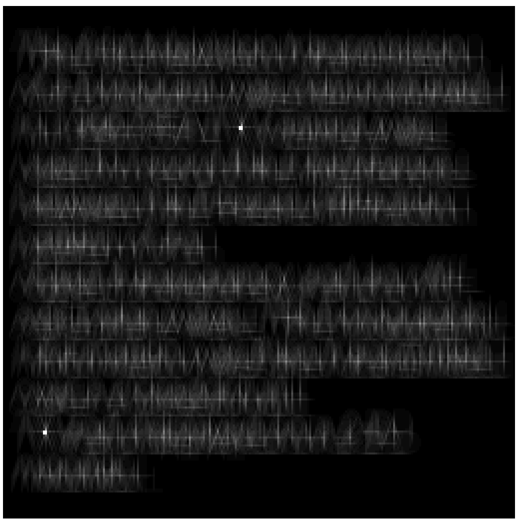
الشكل الذي نبحث عنه



نتيجة البحث بعد الترشيح



نتيجة البحث

→ 

عملية الترشيح (الفلترة) الخاصة :

حتى تتم عملية الترشيح نضيف إلى الشيفرة السابقة والخاصة بالارتباط، الشفيرة الاضافية التي يمكن من خلالها تضخيم ترددات معينة وحذف ترددات غير مرغوب بها، و هذه العملية غير أساسية عند دراسة عملية التمييز، ولكنها مفيدة من أجل بعض الحالات و خصوصا عندما نحصل على نتائج يمكن أن تكون غير واضحة، أو تسبب لنا بعض اللبس .

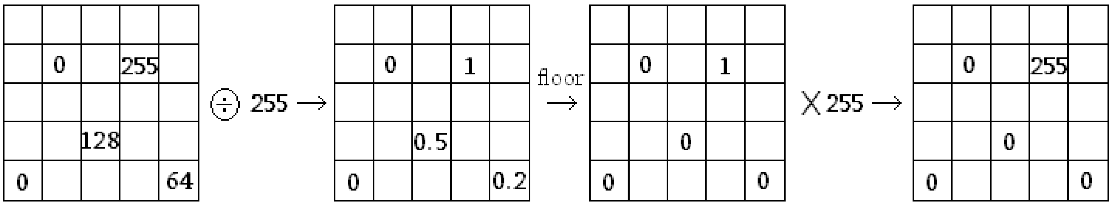
الشيفرة الخاصة بالترشيح أو الفلترة هي :

```
----------------------------------------------------------
%%%%%%%%%%%%correlation with filter
figure(5)
colormap(gray(255));
fi= abs(PR./255);
afi=floor(fi);
rfi=afi.*255;
image(rfi);
title('correlation with filter ')
axis off
%%%%%%%%%%%%output result image
imwrite(rfi,'re&filter.bmp','bmp');
----------------------------------------------------------
```

الية عمل الترشيح الخاصة :

الفكرة بسيطة جدا حيث يمكن اعتبار الصورة عبارة عن مصفوفة ثنائية البعد ذات تدرج رمادي، أي أن الالوان تتدرج قيمتها من (٠) حتى (٢٥٥) لون فقط. ولما كانت عملية الارتباط الذاتي تعطي دوما بقعة شديدة البياض في مكان تواجد الشكل الذي نبحث عنه، فأن العنصر الذي يكون شديد البياض من هذه المصفوفة يمتلك وحده القيمة ٢٥٥، أما بقية العناصر فتمتلك قيم أقل من ذلك. ويقابل اللون الأسود قيمة معدومة أي (٠). قمت بعملية تقسيم رياضي لجميع عناصر المصفوفة على أكبر قيمة في المصفوفة أي ٢٥٥، بالتالي أصبحت قيم المصفوفة تتراوح بين (٠) و (١)، حيث القيمة (١) موجودة فقط في منتصف منطقة ترددات الارتباط الذاتي، أما بقية القيم فهي قيم عشرية. ثم قمت بعملية تقريب لجميع عناصر المصفوفة إلى الأدنى، أي إلى أقرب أصغر عدد صحيح ، عندها أصبحت جميع العناصر ما عدا القيمة (١) تساوي (٠)، ثم قمت بضرب المصفوفة بالقيمة ٢٥٥، لأن القيمة (١) عمليا تظهر للعين سوداء تماما مثل القيمة (٠)، لأن الفارق لا يتعدى درجة لونية واحدة من السواد فقط، ولكن عندما قمت بضرب جميع العناصر بالقيمة ٢٥٥، أصبحت القيمة (١) تساوي ٢٥٥ أي ذات لون أبيض، وهي الترددات المركزية الناتجة عن الارتباط الذاتي، أما جميع القيم الاخرى بقيت

معدومة لانها معدومة أصلا من العملية السابقة (عملية التقريب). بالتالي قمنا بحذف جميع الترددات التي لا تأخذ قيمة أعظمية، وهي الترددات المجاورة للتردد المركزي بالإضافة إلى الترددات الناتجة عن الارتباط التبادلي. في المخطط التالي تظهر الخطوات والمراحل المتبعة في عملية الترشيح:



٥.١.٦ كشف الفرق بين شكلين متشابهين :

كما ذكرنا سابقا هذه العملية هي العملية العكسية للعملية السابقة، فقد لاحظنا عند حدوث ارتباط ذاتي بين الشكل وذاته، تشكل بقعة مركزية بيضاء ولكن هذه البقعة يمكن أن نراها من أجل ارتباط شكل مع شكل مشابه له بدرجة كبيرة، وقد رأينا ذلك سابقا عند دراسة الارتباط، حيث تكون النتيجة متقاربة ولا تستطيع العين البشرية كشف الاختلاف بينهما بسهولة، تماما كما لا تستطيع تمييز الشكلين أصلاً، والسبب في ذلك هو أن الاختلاف في تدرج اللون بين الشكلين يكون صغيراً وليس من الرتبة التي تتحسسها العين البشرية.

الشيفرة المصدرية أو البرمجية لكشف الفرق بين شكلين متشابهين :

```
%This code is written by Ali Al-alian
%de.m
clear
I1=imread('logo_or.bmp','bmp'); %Input image 1 (reference
image)
I1=I1(:,:,1);
figure(1) %displaying input image 1
colormap(gray(255));
image(I1)
title('reference image')
axis off
FI1=fft2(I1);
max1=max(FI1);
```

```
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
FI1=FI1.*scale;
I2=imread('logo_u.bmp','bmp'); %Input image 2 (image to
be recognized)
I2=I2(:,:,1);
figure(2) %displaying input image 2
colormap(gray(255));
image(I2)
title('image to be recognized')
axis off
FI2=fft2(I2);
max1=max(FI2);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
FI2=FI2.*scale;
FPR=FI1.*conj(FI2);%calculating correlation
PR=ifft2(FPR);
PR=fftshift(PR);
max1=max(PR);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
PR=PR.*scale;
%figure(3)%display of correlation in spatial domain
%colormap(gray(255));
IPR1=abs(256*PR);
%image(IPR1);
%axis off

FPRorginal=FI1.*conj(FI1);
PRorginal=ifft2(FPRorginal);
PRorginal=fftshift(PRorginal);
max1=max(PRorginal);
max2=max(max1);
scale=1.0/max2;
PRorginal=PRorginal.*scale;
%figure(4)
%colormap(gray(255));
IPR2=abs(256*PRorginal);
%image(IPR2);
%axis off

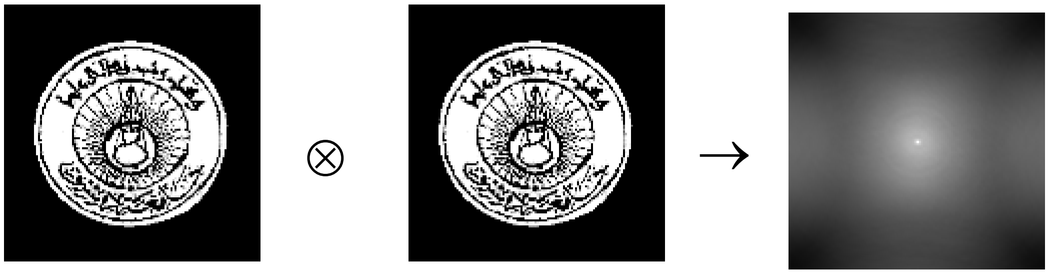
diff=abs(IPR1-IPR2);
figure(3) %displaying input image 2
colormap(gray(255));
image(10*diff)
title('display difference')
axis off
%%%%%%%%%%%%output result image
imwrite(diff/50,'re.bmp','bmp');
---------------------------------------------------------
```

العينة الأولى (كشف الاختام المزورة):

جميع الصور تم سحبها باستخدام الماسح الضوئي ولها الأبعاد Pixel (128x128).

أولا : نقوم بتشكيل ارتباط ذاتي للشكل الأصلي مع نفسه، ونحصل على النتيجة التي تعتبر من الأن وصاعدا مقياس لكشف التطابق ونسميها R_1 :

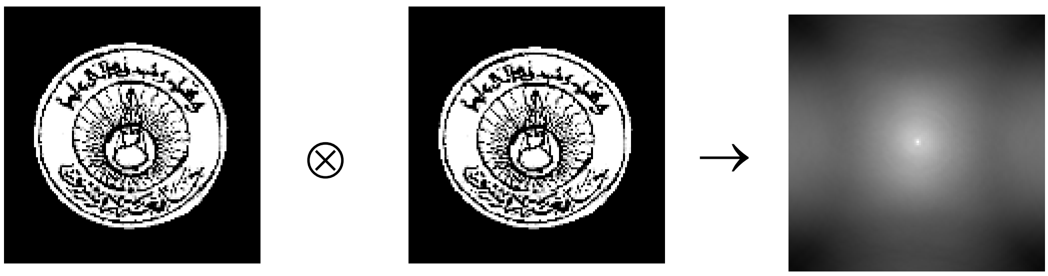
ارتباط ذاتي (R_1) | الشكل الأصلي | الشكل الأصلي



ثانيا : نقوم بعملية ارتباط بين الصورة الأصلية الموجودة لدينا مع الصورة التي نرغب بالتحقق من أصالتها، وعليه يمكن أن يحدث ارتباط ذي نوعين مختلفين :

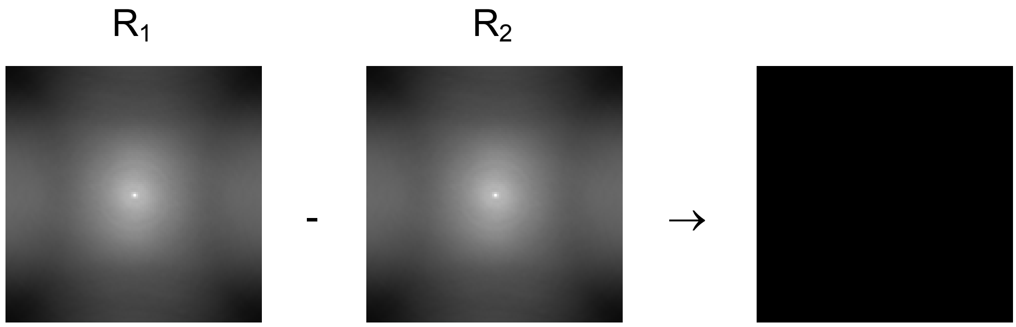
الأول ارتباط ذاتي إذا كانت الصورة أصلية، والثاني ارتباط تبادلي إذا كانت الصورة غير أصلية ، ونسمي الصورة التي نحصل عليها بغض النظر فيما إذا كانت الصورة أصلية أو مزورة R_2 مثل :

ارتباط (R_2) | الشكل المزور | الشكل الأصلي

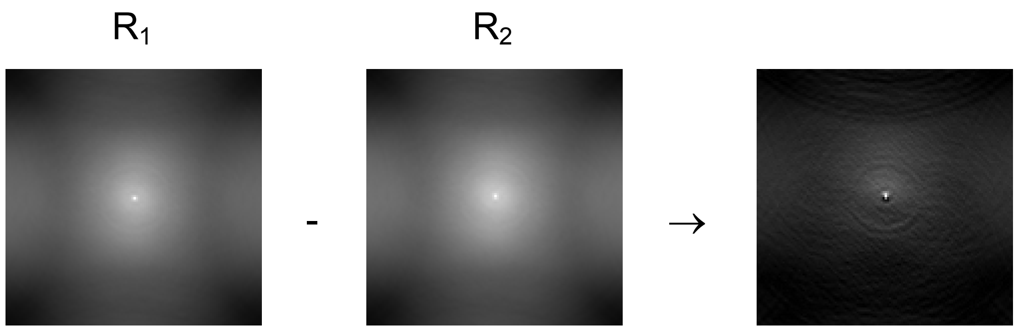


ثالثا: نقوم بطرح الصورة التي نتجت معنا في الخطوة الثانية R_2، أي الناتجة عن الارتباط والتي لانعرف فيما اذا كانت ناتجة عن صورة أصلية أو مزورة من الصورة التي نتجت معنا في الخطوة الاولى R_1، والتي حصلنا عليها من الارتباط الذاتي. تبين عملية الطرح أنه بالأمكان تمييز حالتين هما :

١- اذا كانت الصورة الثانية أصلية فإن ناتج عملية الطرح السابقة سيعطي صورة سوداء تماماً، لإن ناتج عملية الطرح سيكون (٠) دوما مهما كانت قيمة اللون، وبالتالي القيمة (٠) تعطي اللون الأسود وهذا دليل على أصالة الصورة الثانية.



٢- إذا كانت الصورة الثانية مزورة وكانت متشابهة معها بدرجة عالية، فإنه مهما كان التشابه الحاصل كبيراً، ستختلف قيمة عنصر واحد من الصورة على الأقل، وسيكون ناتج الطرح لا يساوي (٠) وبالتالي ستظهر بقع بيضاء على الصورة المعيارية الناتجة عن عملية الطرح، تبين الاختلاف بين الصورة الاولى والصورة الثانية.



العينة الثانية (كشف العملة المزورة) :

تمت دراسة جميع العينات الخاصة بالعملة الورقية من فئة ١٠٠٠ ليرة سورية، حيث قمت بأخذ صور ذات دقة عالية و بأبعاد كبيرة نسبيا باستخدام الماسح الضوئي Pixel (1306x1600)، وهذه الأبعاد تضمن الحصول على نتائج جيدة ودقيقة، ولكن نظرا لعدم امكانية إدراج هذه النتائج بالقياس الذي تمت به الدراسة، قمت بتصغير النتائج النهائية بالإضافة إلى الصور الأصلية إلى القياس Pixel (256x256).

أولا : نقوم بتشكيل ارتباط ذاتي للشكل الأصلي مع نفسه، ونحصل على النتيجة التي تعتبر من الأن وصاعدا مقياس لكشف التطابق ونسميها R_1 :

الشكل الأصلي



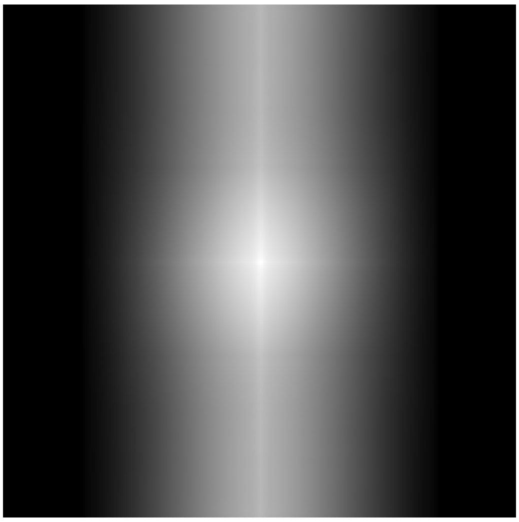
$\otimes$

الشكل الأصلي



R_1

$\rightarrow$



ثانيا : نقوم بعملية ارتباط بين الصورة الأصلية الموجودة لدينا مع الصورة التي نرغب بالتحقق من أصالتها وسنميز ثلاث حالات هي:

الحالة الاولى: في حال كون الصورة المختبرة (أصلية).

الحالة الثانية : في حال كون الصورة المختبرة (مزورة بطريقة أولى).

الحالة الثالثة : في حال كون الصورة المختبرة (مزورة بطريقة ثانية).

الحالة الاولى : الصورة المختبرة (أصلية):

الشكل المختبر



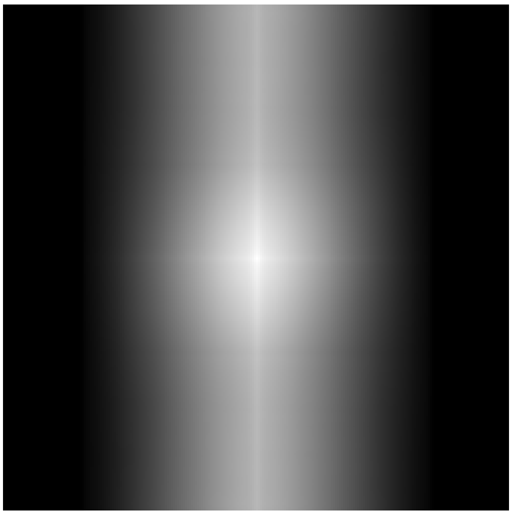
$\otimes$

الشكل الأصلي



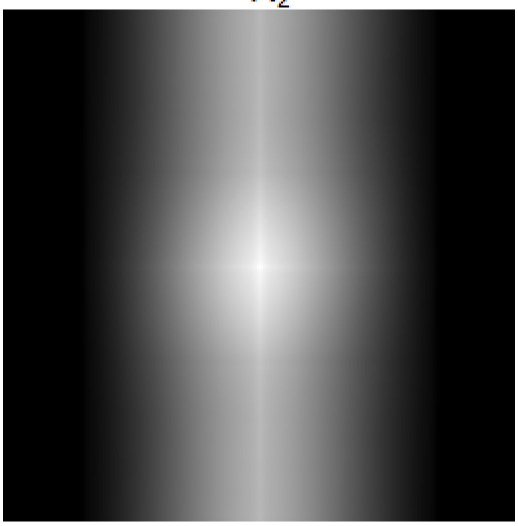
$\rightarrow$

R_2



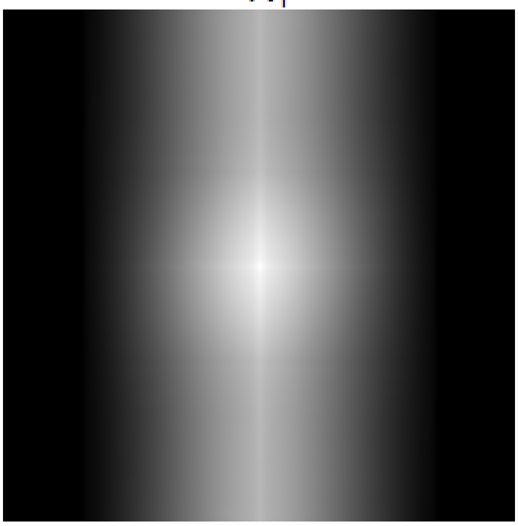
ثالثاً: طرح الصورة R_2 من R_1 للحالة الأولى:

R_2

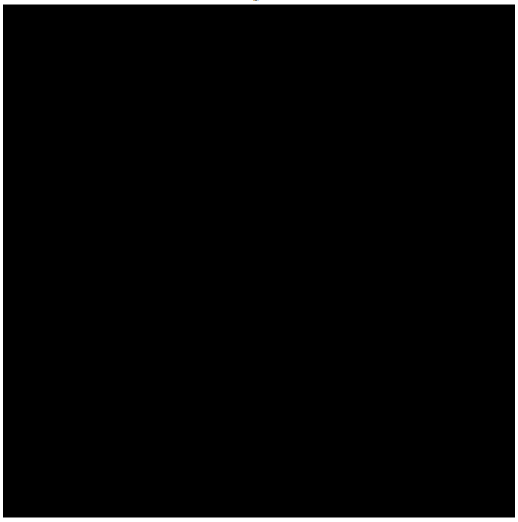


-

R_1



النتيجة

→ 

الحالة الثانية : الصورة المختبرة (مزورة بطريقة أولى):

الشكل المختبر

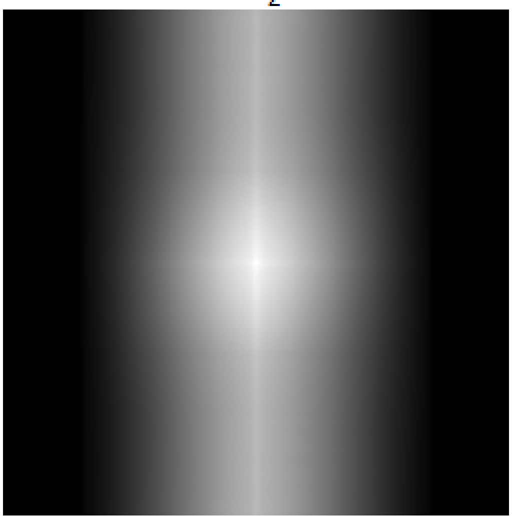


$\otimes$

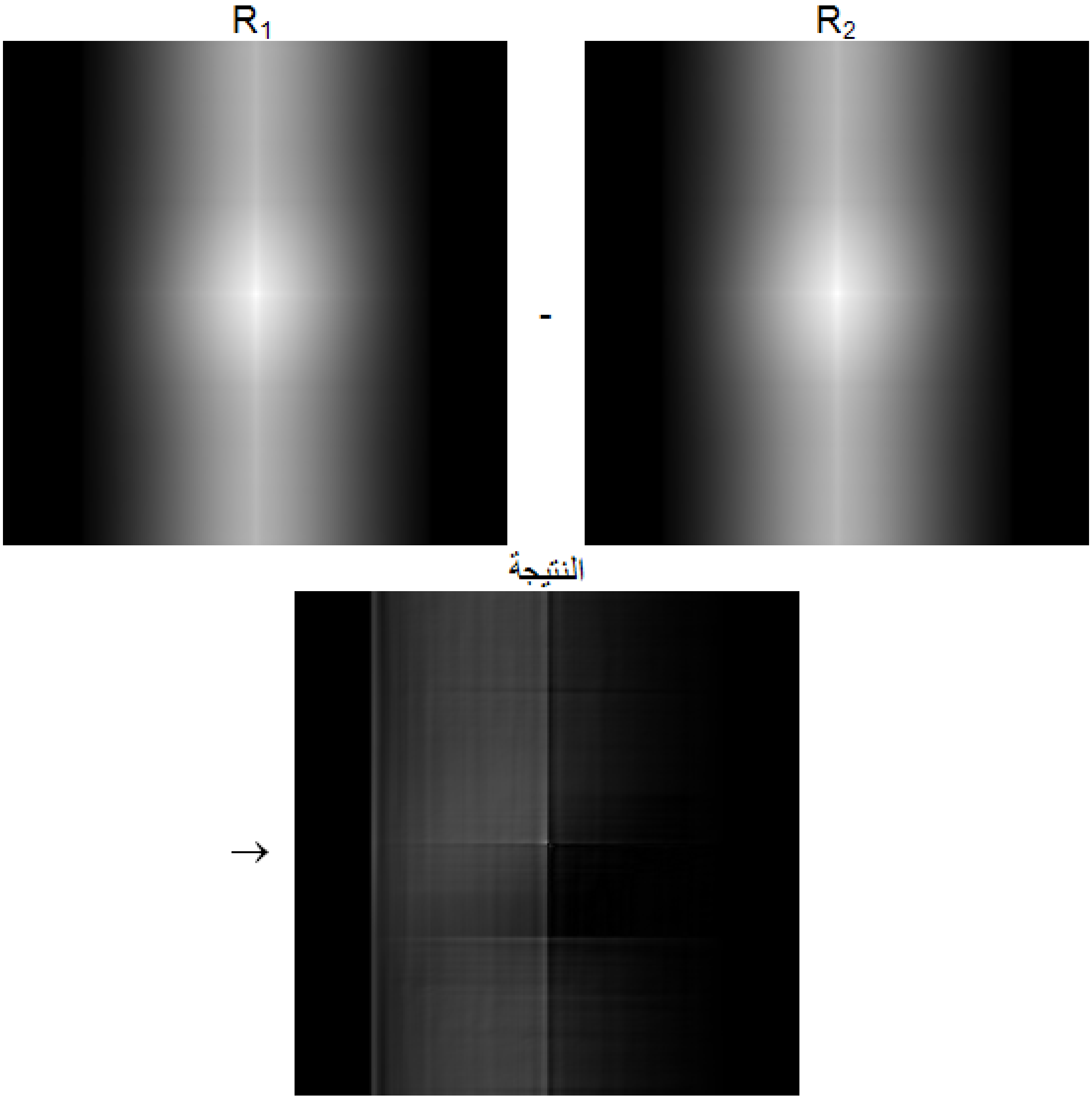
الشكل الأصلي



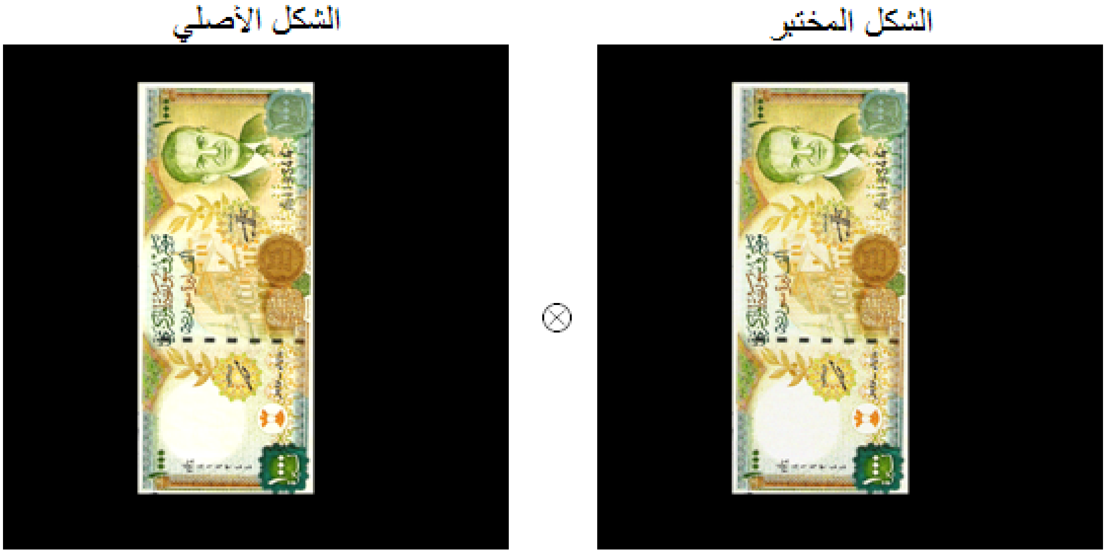
R_2

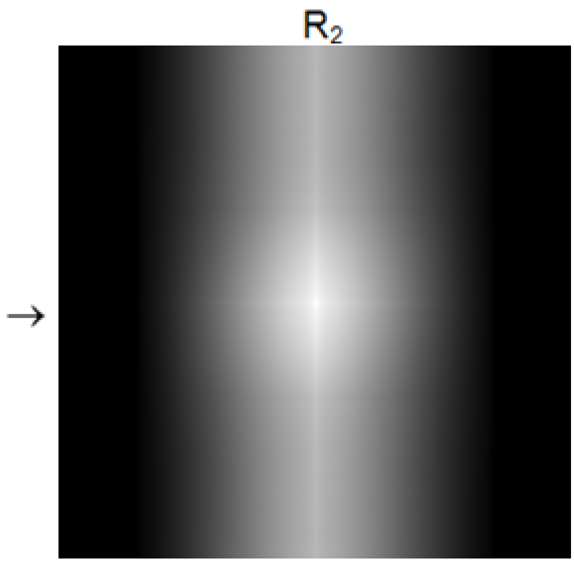
→ 

طرح الصورة R_2 من R_1 للحالة الثانية :

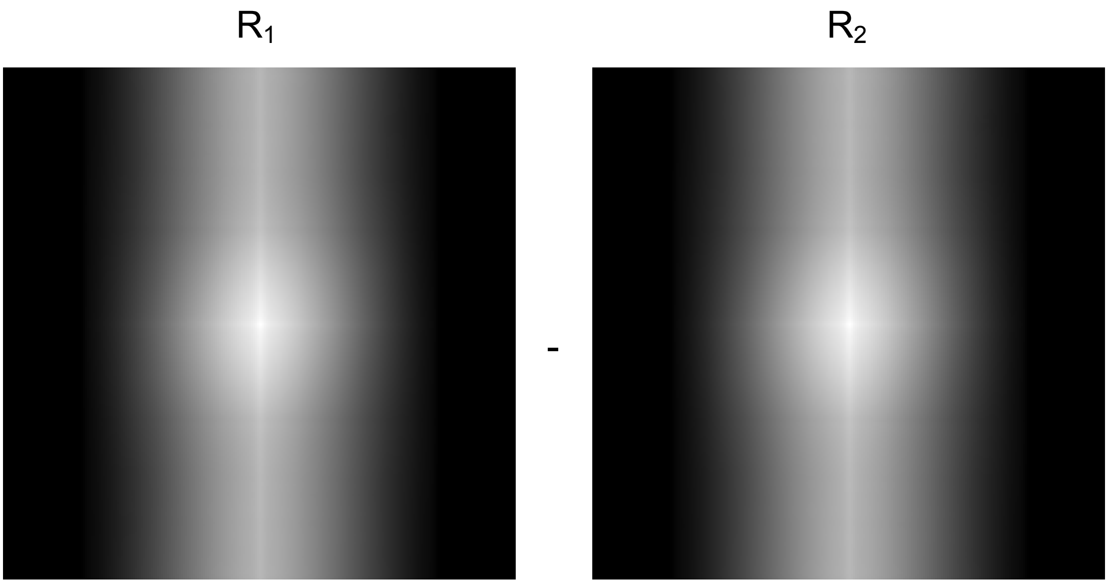


الحالة الثالثة : الصورة المختبرة (مزورة بطريقة ثانية):

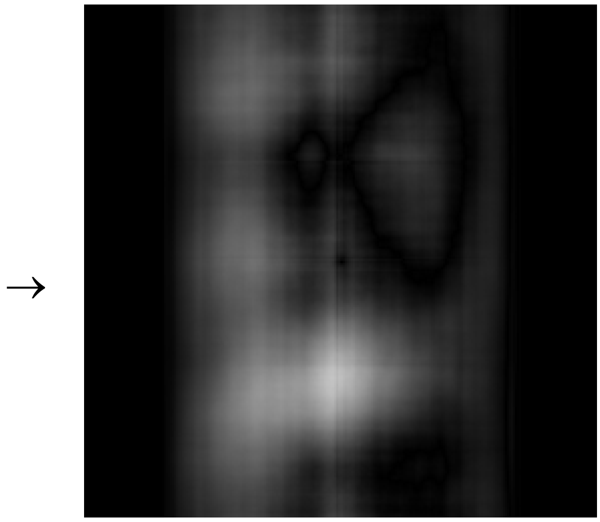




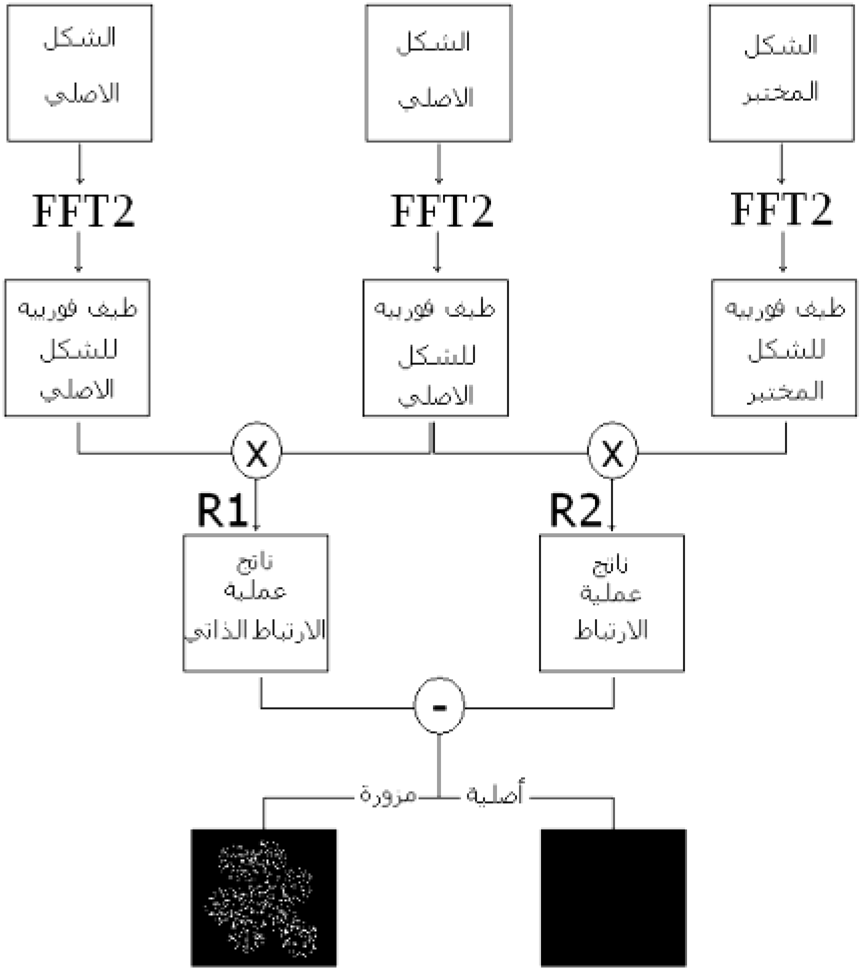
طرح الصورة R_2 من R_1 للحالة الثالثة:



النتيجة



إذن يمكننا الآن التعبير عن جميع الخطوات المتبعة بالمخطط التالي :



كما يظهر من المخطط السابق يمكننا الاستفادة من طرح الصورتين R_1 و R_2، علما أن الصورة R_1 ناتجة عن الارتباط الذاتي للصورة الاصلية مع ذاتها، بينما الصورة R_2 ناتجة عن ارتباط الصورة المختبرة مع الصورة الاصلية. الآن اذا كان ناتج عملية الطرح السابقة صورة سوداء بالكامل، يمكننا الحكم على الصورة المختبرة بأنها أصلية، بينما اذا حصلنا على نقاط بيضاء على الصورة الناتجة من عملية الطرح تكون الصورة المختبرة مزورة.

الاستنتاجات

أولاً : يمكن إعادة بناء الخيال لأي جسم انطلاقا من شكل أهداب الانعراج الخاصة به.

ثانياً : تتعلق أبعاد الأهداب الموجودة على الهولوغرام بالإضافة إلى المسافات الفاصلة فيما بينها، بأبعاد تابع العبورية للشكل الذي تم تصويره.

ثالثاً : يمكن إنتاج الهولوغرام رقميا باستخدام الحاسوب بعد المعرفة الدقيقة للمرجعية الرياضية التي يقوم عليها علم الهولوغرافيا.

رابعاً : أهمية دراسة الاستجابة النبضية للجهاز عند استخدامه لنقل أي معلومة أو أي إشارة.

خامساً : بالإمكان استخدام الهولوغرام المنتج رقميا كمرشح في مجال المعالجة الضوئية للمعلومات كتمييز الأشكال بطريقة الارتباط الذاتي و كشف الفرق بين شكلين متشابهين.

التوصيات

أولاً : إتاحة الإمكانيات الفعلية من مخابر وتجهيزات للعمل في حقل الهولوغرافيا بشكل عملي.

ثانياً : تطوير العمل والانتقال من الهولوغرام ثنائي الأبعاد إلى الهولوغرام ثلاثي الأبعاد بشكل عملي.

ثالثاً : العمل على أمكانية استرداد المعلومات الأصلية (إشارة الدخل) بعد حدوث عملية التفاف لها ضمن جهاز أو منظومة غير معروفة الاستجابة النبضية الخاصة بها.

رابعاً : العمل على دراسة الكيفية أو الآلية التي تقلل من أثر عملية الالتفاف التي تشوه المعلومات والإشارات التي تمر عبر أي جهاز أو منظومة ضوئية.

خامساً : الاستفادة من طريقة إنتاج الهولوغرام في عملية تخزين البيانات والمعلومات.

سادساً : الاستفادة من عملية الارتباط الذاتي في تطبيقات أخرى كالتصوير الجوي ودراسة التقلبات الجوية.

الملحقات والمراجع العلمية

مبدأ عمل خوارزمية تحويل فوريبه السريعFFT : [3]

يعتبر تحويل فوريبه السريع من الخوارزميات المعقدة حيث يعتمد مبدأ عمله على مايلي:

أولا : تفكيك الإشارة التي طولها (N) عينة في مجال الزمن بطريقة معينة إلى N إشارة كل منها مؤلفة من عينة وحيدة.

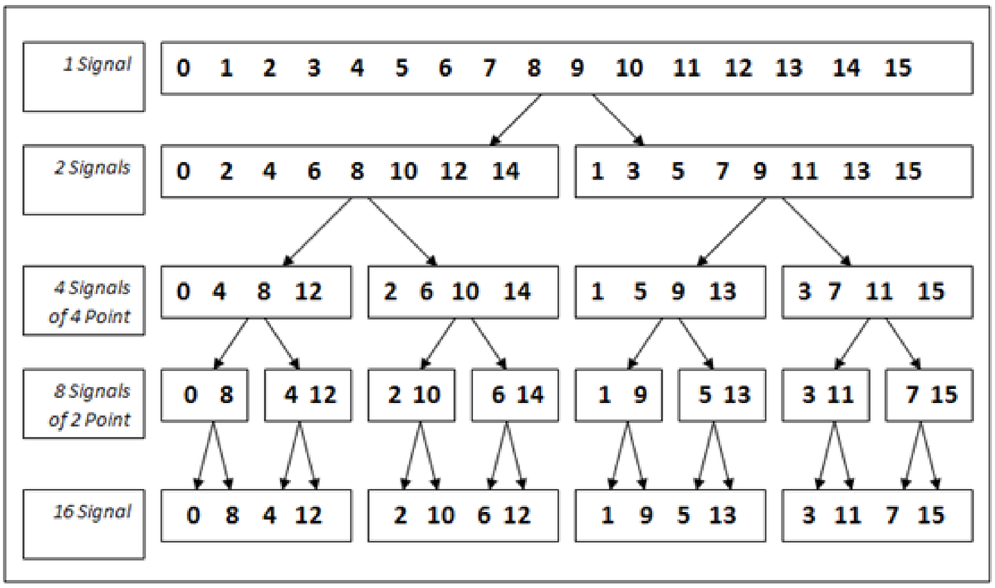
ثانيا : حساب الطيف الترددي لكل من هذه الإشارات.

ثالثا : تركيب الطيف الترددي للإشارة ككل من الأطياف الترددية للإشارات الجزئية.

على سبيل المثال، يمكن توضيح الآلية التي يعمل بها FFT في جميع المراحل السابقة، عن طريق تحليل إشارة في مجال الزمن، و في هذا المثال يتم تحليل إشارة بطول (16) عينة عبر أربع مراحل هي :

المرحلة الأولى في خوارزمية FFT : الخطوة الأولى منها تقسم الإشارة الأصلية إلى إشارتين طول كل منها (8) عينات، بحيث تحوي الإشارة الأولى على العينات الفردية، و الإشارة الثانية على العينات الزوجية، ثم نقسم في الخطوة الثانية كل إشارة إلى إشارتين طول كل منهما (٤) ، وهكذا وبمتابعة عمليات التقسيم نحصل على N إشارة طول كل منها عينة واحدة فقط.

تسمى طريقة التقسيم هذه طريقة التحليل المتشابك Interlaced Decomposition .



الشكل (1-A)[3]

إن عدد مراحل التقسيم المطلوبة هو (Log2 N) ، أي أن الإشارة التي طولها 16 عينة ستحتاج إلى 4 مراحل، والإشارة التي طولها 512 عينة ستحتاج إلى (9) مراحل ...الآن وبعد فهم بنية التحليل، فإنه من الممكن تبسيطه بشكل كبير، فالتحليل هو ليس أكثر من إعادة ترتيب عينات الإشارة.

الفكرة المهمة هي أن كلاً من الأرقام الثنائية هو عبارة عن معكوس الرقم المقابل له. فمثلاً العينة رقم 3 (0011) تم استبدالها بالعينة رقم 12 (1100) كذلك الأمر للعينة رقم 14 (1110) ، حيث تم استبدالها بالعينة رقم 7 (0111) وهكذا.

ينجز تحليل FFT في مجال الزمن باستخدام برنامج يعكس ترتيب الخانات، و يعيد ترتيب N عينة في مجال الزمن عن طريق العد الثنائي مع عكس الخانات.

المرحلة الثانية في خوارزمية FFT : هي إيجاد الطيف الترددي لعينة واحدة للإشارة في مجال الزمن و هذا بسيط، حيث أن الطيف الترددي لعينة واحدة يساوي قيمة هذه العينة. يجب أن لا ننسى أن الإشارات وحيدة العينات قد أصبحت الآن تمثل الطيف الترددي وليست إشارات في مجال الزمن.

المرحلة الأخيرة في خوارزمية FFT : هي ضم الطيف الترددي وفق الترتيب العكسي لعملية التحويل في مجال الزمن.

للأسف أن عملية عكس الخانات غير قابلة للتطبيق هنا ويجب أن نعود للخلف خطوة خطوة :

في الخطوة الأولى يكون لدينا 16 طيف ترددي (طول كل منها نقطة واحدة)، نركب منها 8 أطياف ترددية (طول كل منها نقطتين).

في الخطوة الثانية يكون لدينا 8 أطياف ترددية (طول كل منها نقطتين)، نركب منها 4 أطياف ترددية (طول كل منها 4 نقاط) وهكذا.. في الخطوة الأخيرة نحصل على طيف ترددي وحيد بطول 16 نقطة.

إن عملية التركيب هذه يجب أن لا تستخدم عملية التحليل المتشابك المستخدم في مجال الزمن، و بعبارة أخرى إن العمليات المنفذة في المجال الترددي، يجب أن توازي إجراءات مجال الزمن المنفذة لضم إشارتين طول كل منهما 4 نقاط عن طريق التحليل المتشابك.

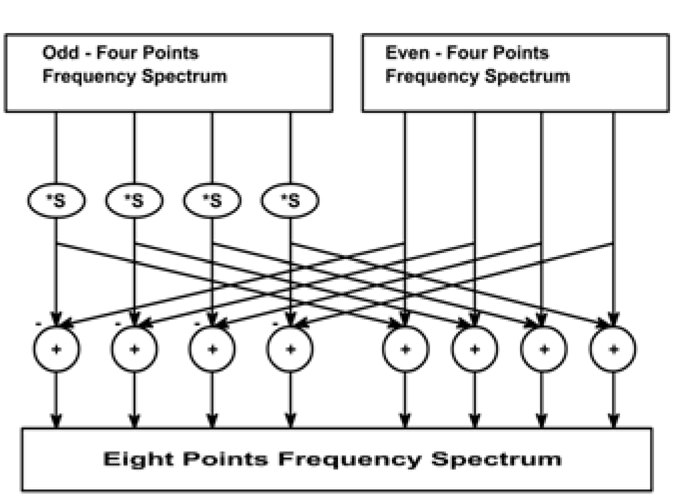
لنفرض أن لدينا إشارتين طول كل منهما 4 عينات فإنه يمكن ضمّهما على خطوتين :

أن نضيف إلى كل إشارة أصفاراً لجعلها بطول 8 عينات، ومن ثم يتم جمع الإشارتين معاً.

إن إضافة الأصفار في مجال الزمن يتم بالتناوب مع عينات الإشارة، ويقابلها في مجال التردد مضاعفة المجال الترددي، وهكذا فإن ضم الطيفين في الـ FFT يتم عن طريق مضاعفتهما ومن ثم جمعهما.

من أجل التوافق عند الجمع، فإن إضافة الأصفار للإشارتين تختلف بشكل بسيط بين الإشارتين، ففي إحداهما تكون العينات ذوات الأرقام الفردية أصفاراً، بينما في الثانية تكون العينات الزوجية أصفاراً.

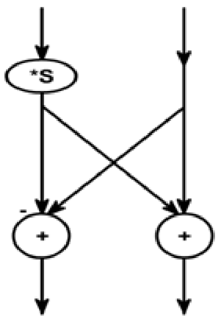
يبين الشكل التالي المخطط المنهجي المستخدم لضم طيفين طول كل منهما 4 نقاط وتشكيل طيف واحد طوله 8 نقاط :



الشكل (2-A)[3]

لجعل الحالة أكثر سهولة لاحظ أن الشكل السابق مكون من العملية الأساسية المبينة في الشكل (3-A) ومكررة عدة مرات.

تسمى هذه العملية بالفراشة ، لأنها ذات مظهر مجنح أشبه بالفراشة، و هي العملية الأساسية في الـ FFT وتقوم بتحويل قيمتين عقديتين إلى قيمتين عقديتين أخرتين.



الشكل (3-A)[3]

تتطلب عملية التركيب في المجال الترددي ثلاث حلقات :

الحلقة الخارجية وتنفذ على Log2 N خطوة (أي خطوة لكل مستوي من مستويات الشكل (A-1) بدءاً من الأسفل وحتى الأعلى).

أما الحلقة الوسطى فتمر عبر كل مركبة ترددية من مركبات الطيف في كل مرحلة (أي من أجل كل صندوق في مستوي واحد من مستويات الشكل (A-1)).

أما الحلقة الداخلية فهي تستخدم عملية الفراشة لحساب العينات الترددية في كل طيف (أي أنها تمر على العينات في كل صندوق من الشكل (A-1)).

تحدد الصناديق العلوية بداية ونهاية كل حلقة من الحلقات خلال عملية حساب المركبات الجيبية المطلوبة لعملية الفراشة.

١- العمليات :

- **العمليات الرياضية الأساسية : + ، - ، * ، / :**

تشير إلى نفس المعنى الرياضي المستخدم في الرياضيات التقليدية .

- **x^y**

رفع القيمة x إلى القيمة y.

- **.***

X.*y تعيد مصفوفة عناصرها هي جداء عناصر المصفوفة x مع مقابلاتها من y (يمكن تغيير العملية الرياضية بعد النقطة لباقي العمليات الرياضية الأساسية مثل .^ و .\ و ./)

- **floor(x)**

تقرب عناصر x لأقرب أصغر عدد صحيح

- **Abs(x)**

تعيد القيمة المطلقة لـ x

2- المتغيرات المعرفة مسبقا في برنامج الماتلاب والمعروفة :

pi	3.1416 π
Inf	Infinity ∞
NaN	Not a Number
i or j	The complex variable √-1

3- الإجراءات والدوال :

- بنى التحكم :

أ. الصيغ العامة للحلقات التكرارية:
الحلقة while

```
while (condition)
command
end
```

الحلقة for

```
for (counter = initialv:step:finalv)
command
end
```

ب. الصيغة العامة للجمل الشرطية :

```
if (condition 1)
command
elseif (condition 2)
command
else
command
end
```

حيث يمكن استخدام الشروط التالية :

<	أصغر
>	أكبر
<=	أصغر أو يساوي
>=	أكبر أو يساوي
==	يساوي
~=	لا يساوي

- (semicolon) ;

يتم إخفاء القيمة المدخلة وكذلك النتيجة من الظهور ولكن جميع العمليات من إدخال القيم وحساب النتائج تتم بشكل طبيعي ويقوم الماتلاب بتنفيذ ما يطلبه المستخدم.

- **%**

وضع تعليق لا تتم قراءته من قبل البرنامج وبالتالي لا تتم معالجته.

- **Clc**

تمسح التعليمات من نافذة التعليمات.

- **Clear**

تحذف جميع المتحولات من فضاء العمل

- **Clear a**

تمسح المتحول a فقط من فضاء العمل.

- **Imread**

قراءة ملفات الصور بالشكل التالي (A = imread('c:\holo\txt.bmp' ، حيث A اسم المصفوفة التي سيتم تخزين معلومات الصورة فيها من المسار 'c:\holo\txt.bmp'

- **imwrite**

كتابة وحفظ الصورة بالشكل التالي (' imwrite(A,'c:\holo\output.bmp ، حيث A اسم المصفوفة التي سيتم حفظها على هيئة صورة في المسار ' c:\holo\output.bmp'.

- **max(x)**

تعيد قيمة أكبر عنصر لمصفوفة وحيدة البعد و إذا كانت ثنائية الأبعاد تعيد أكبر قيمة من كل عمود من المصفوفة x

- **min(x)**

تعيد قيمة أصغر عنصر لمصفوفة وحيدة البعد و إذا كانت ثنائية الأبعاد تعيد أصغر قيمة من كل عمود من المصفوفة x

- **zeros(M,N)**

تعيد مصفوفة أبعادها mxn عناصرها أصفار

- **ones(M,N)**

تعيد مصفوفة أبعادها mxn جميع عناصرها تأخذ القيمة واحد

- **conj(x)**

يتم كتابة المتحول x بالشكل العقدي أي : conj(x)=Real(x)-i*Imag(x)

- **الدوال الرسومية :**

figure (1) : فتح أو إنشاء صورة أو شكل تحت الرقم خاص مثلا 1 .

colormap(gray) : جعل التدرج الخاص بلون الصورة رماديا .

image (x): عرض المصفوفة x على هيئة صورة .

axis off : إلغاء التدرج على الصورة أو الشكل أي عدم إظهار المسطرة.

- **دوال تحويل فورييه :**

y=fft(x) : تحويل فورييه أحادي البعد وتخزين ناتج تحويل المصفوفة x في المصفوفة y .

y=ifft(x) : تحويل فورييه العكسي أحادي البعد وتخزين ناتج التحويل العكسي للمصفوفة x في المصفوفة y .

y=fft2(x) : تحويل فورييه ثنائي الأبعاد وتخزين ناتج تحويل المصفوفة x في المصفوفة y .

y=ifft2(x) : تحويل فورييه العكسي ثنائي الأبعاد وتخزين ناتج التحويل العكسي للمصفوفة x في المصفوفة y .

y=fftn(x,n) : تحويل فورييه من الدرجة n وتخزين ناتج تحويل المصفوفة x في المصفوفة y .

y=ifftn(x,n) : تحويل فورييه العكسي من الدرجة n وتخزين ناتج التحويل العكسي للمصفوفة x في المصفوفة y .

y=fftshift(x) : إزاحة ناتج التحويل للمصفوفة x إلى منتصف الشكل أو الصورة وتخزينه في المصفوفة y.

English	العربية
A	
Absorption	امتصاص
Active medium	وسط فعال
Additivity	الجمع
Aether	أثير
Algorithm	خوارزمية
Amplitude	سعة
Analysis Fourier	تحليل فورييه
Angle	زاوية
Apparatus	جهاز
Aperture(Lens)	فتحة (عدسة)
Auto correlation	الترابط الذاتي
Axis	محور
B	
Beam	حزمة
Beam splitter	مجزئ الحزمة
Brewster angle	زاوية بروستر
Bright	هدب مضيء
Brightness	السطوع
C	
Coherence	ترابط
Coherence Sources	منابع مترابطة
Complex conjugate	مرافق عقدي
Continuous system	المنظومات المستمرة
Contrast	تباين - وضوح
Convolution	الالتفاف
Correlation	الارتباط
Cross-correlation	الترابط التبادلي
D	
Dark	هدب مظلم
Data	معطيات
Delta Function	تابع دلتا(نبضة ديراك)
Difference in optical path	فرق المسير الضوئي
Diffraction	انعراج
-Pattern	نموذج انعراج
-grating	شبكة انعراج
Digital Holography	الهولوغرافيا الرقمية
Directionality	الاتجاهية

Double- Slit	شق مضاعف
E	
Excited State	السوية المثارة
Experiment	تجربة
F	
Fast Fourier Transform	تحويل فورييه السريع
Filter	مرشح
Focus	محرق
Fraunhofer diffraction	انعراج فراونهوفر
Frequency	تردد-تواتر
Fresnel diffraction	انعراج فرنل
Fringes	أهداب
G	
Glow	وهج
Ground State	السوية الأرضية
H	
Hologram	فلم التصوير الهولوغرافي
Holography	هولوغرافي (تصوير مجسم)
Homogeneity	التجانس
Huygens' Principle	مبدأ هويجنس
I	
Image	صورة
Information	معلومات
Infra-red	تحت الأحمر
Intensity	شدة
Interference	تداخل
Interlaced Decomposition	طريقة التحليل المتشابك
Inversion of phase	تغير الطور
L	
Laser	ليزر
Light	ضوء
Line Width	عرض الخط
Longitude wave	موجة طولية
Luminescence	تألق
M	
Matrix	مصفوفة
Mirror	مرآة
Monochromatic	وحيد اللون

N	
Nature of light	طبيعة الضوء
Nonlinear system	نظام لا خطي
O	
Object wave	موجة معلومات الجسم
Observer	مراقب
Optical Linear System	المنظومة الضوئية الخطية
P	
Paint	رسم ، رسام
Perfect Coherence	ترابط تام
Phase	طور
Photographic plate	لوح التصوير
Photon	فوتون
Pixel	عنصر الصورة الرقمية (عينة فردية)
Plane wave	موجة مستوية
Plate	صفيحة
Point source	المنبع النقطي
Power	استطاعة
Prism	موشور
Propagation of light	انتشار الضوء
Pulse	نبضة
R	
Ray	شعاع
Real image	الخيال الحقيقي
Reconstruction wave	موجة البناء (إعادة التشكيل)
Rectangle	مستطيل
Reference wave	الموجة المرجعية (المباشرة)
Resonance	طنين
Resonant energy transfer	الانتقال التجاوبي للطاقة
Response	استجابة
S	
Signal	إشارة
Sinusoidal fidelity	الأمانة الجيبية
Slit	شق
Sources Code	الشيفرة المصدرية
Sources of Light	منابع ضوئية
Spatial Coherence	الترابط المكاني
Spherical wave	موجة كروية
Spontaneous Emission	الإصدار التلقائي

Static	الساكنة
Stimulated Emission	الإصدار المحثوث
System	المنظومة (نظام)
T	
Temporal Coherence	الترابط الزماني
Time Invariance	الثبات مع الزمن
Time of exposure	زمن التعريض
Transparent	شفاف
Transverse wave	موجة عرضية
Triangle	مثلث
U	
Ultraviolet	فوق بنفسجي
Umbra	ظل
V	
Velocity of light	سرعة الضوء
Virtual	وهمي
Virtual image	الخيال الوهمي
vision	رؤية
W	
Wave	موجة
-front	صدر الموجة
-length	طول الموجة

المراجع العلمية

المراجع باللغة العربية :

----

[١] د.ضيف الله نصور، الضوء الفيزيائي ، جامعة تشرين كلية العلوم ، ٢٠٠٦

[٢] د.محمد كوسا، فيزياء الليزر وتطبيقاته ، جامعة دمشق كلية العلوم ، ٢٠٠٦

[٣] د.جوزيف جرجس طراد ، دليل المصمم في معالجة الإشارة الرقمية ، شعاع للنشر والعلوم ، الطبعة الأولى ٢٠٠٣

[٤] د.حازم فلاح سكيك ، كتاب التصوير الهولوغرافي ثلاثي الأبعاد ، المركز العلمي للترجمة الالكتروني (www.trgma.com) ، ٢٠٠٧

المراجع باللغة الانكليزية :

----

[5] Joseph W. Goodman, Introduction to Fourier Optics , Third Edition , Stanford University, 2005

[6] Frank L.Pedrotti , S.J.& Leno S.Pedrotti , Introduction to Optics , Third Edition , Marquette University,2006

[7] Ting-Chung Poon , Optical Scanning Holography with Matlab®, Virginia Tech ,2007

[8] Orazio Svelto , Principles of Lasers , Fifth edition , 2009

[9] K.D.Moller , Optics Learning by Computing, with Examples Using Mathcad® , Matlab® , Mathematica® ,and Maple® ,Second Editi on,2007

[10] Krzysztof M. Abramski and Edward F. Plinski , Gas Lasers , edited by Masamori Endo Robert F. Walter , Chapter 11 : He–Ne Lasers ,2007

[11] K.F. RILEY,M.P.HOBSON and S.J. BENCE , Mathematical Methods for Physics and Engineering , third edition , cambridge university press,2006

[12] http://science.howstuffworks.com/hologram.htm

الحمد لله رب العالمين